



# **BIOGOSPODARKA**



POD REDAKCJĄ  
**MAŁGORZATY PINK**  
**MAGDALENY WOJNAROWSKIEJ**

# **BIOGOSPODARKA**

WYBRANE ASPEKTY

**Difin**

Copyright © by Difin SA  
Warszawa 2020

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie, przedrukowywanie i rozpowszechnianie całości lub fragmentów niniejszej pracy bez zgody wydawcy zabronione.

Książka ta jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło, a kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty. Szanujmy cudzą własność i prawo.

BLOOM Boosting European Citizens Knowledge and Awareness of Bioeconomy



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 773983.



Monografia została przygotowana w celu upowszechniania części wyników projektu BLOOM.

Wydanie pierwsze

Autorzy

Dawid Bedla, Adam Bogusz, Magdalena Borzęcka, Krzysztof Chmielowski, Ewa Dacewicz, Anna Gorczyca, Maciej Guzik, Wiktor Halecki, Katarzyna Harażna, Katarzyna Kokoszka, Małgorzata Kozak, Anna Kozielec, Małgorzata Miśniakiewicz, Jakub Piecuch, Małgorzata Pink, Rafał Pudełko, Justyna Prajsnar, Sabastian Wojciech Przemieniecki, Szymon Skibiński, Mariusz Sołtysik, Joanna Szarek, Tomasz Witko, Magdalena Wojnarowska, Katarzyna Żyłowska

Recenzent

prof. dr hab. Kazimierz Górka, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

Korekta

Anna Krasucka

Projekt okładki

Magdalena Giera, Edit sp. z o.o.

Zdjęcie na okładce

[www.123rf.com](http://www.123rf.com)

ISBN 978-83-8085-291-4

Difin SA

Warszawa 2020

00-768 Warszawa, ul. F. Kostrzewskiego 1

tel. 22 851 45 61, 22 851 45 62

Księgarnia internetowa Difin: [www.ksiegarnia.difin.pl](http://www.ksiegarnia.difin.pl)

Skład i łamanie: Edit sp. z o.o., [www.edit.net.pl](http://www.edit.net.pl)

Wydrukowano w Polsce

Liczba arkuszy wydawniczych: 21

# SPIS TREŚCI

WSTĘP	9
-------	---

## ROZDZIAŁ 1

<b>BIOGOSPODARKA JAKO NARZĘDZIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU</b>	12
1.1. Konieczność zmiany paradygmatu gospodarczego. Koncepcja zrównoważonego rozwoju	12
1.2. Założenia zrównoważonej konsumpcji i zrównoważonej produkcji	21
1.3. Biogospodarka – definicja i znaczenie	26
1.4. Biogospodarka a gospodarka o obiegu zamkniętym	35
Literatura	38

## ROZDZIAŁ 2

<b>ŚWIAT PALIW KOPALNYCH</b>	43
2.1. Środowiskowe i społeczne skutki wykorzystania paliw kopalnych	43
2.2. Polityczne i gospodarcze skutki wykorzystywania paliw kopalnych	52
2.3. Dywersyfikacja gospodarcza na przykładzie państw Rady Współpracy Zatoki Perskiej	68
Literatura	84

## ROZDZIAŁ 3

<b>BIOGOSPODARKA JAKO STRATEGIA ROZWOJU UNII EUROPEJSKIEJ</b>	87
3.1. Polityka Unii Europejskiej w zakresie biogospodarki	87

3.2. Przegląd strategii Unii Europejskiej oraz instrumenty finansowego wsparcia biogospodarki	95
3.3. Benchmarking rozwiązań biogospodarki w krajach Unii Europejskiej	102
Literatura	109

#### ROZDZIAŁ 4

<b>POLSKA I MAŁOPOLSKA – ANALIZA WYBRANYCH OBSZARÓW SEKTORA BIOGOSPODARKI</b>	111
4.1. Miejsce biogospodarki w polskiej strategii rozwoju	111
4.2. Potencjał biogospodarki w Polsce	115
4.3. Analiza sytuacji biogospodarki w Małopolsce	123
Literatura	133

#### ROZDZIAŁ 5

<b>ŻYWNOŚĆ JAKO DOBRO O SZCZEGÓLNYM ZNACZENIU – BEZPIECZEŃSTWO ŻYWNOŚCIOWE</b>	135
5.1. Bezpieczeństwo żywnościowe a bioróżnorodność	135
5.2. Marnowanie żywności	153
5.3. Fizyczna i ekonomiczna dostępność żywności a jej dystrybucja – problem głodu i otyłości	171
Literatura	181

#### ROZDZIAŁ 6

<b>BIOGOSPODARKA W ROLNICTWIE</b>	187
6.1. Systemy produkcji rolnej w aspekcie rozwoju biogospodarki	187
6.2. Potencjał nadwyżek biomasy w rolnictwie	196
6.3. Systemy produkcji rolnej a środowisko	206
Literatura	216

#### ROZDZIAŁ 7

<b>BIOPRODUKTY W ROLNICTWIE</b>	220
7.1. Metody ochrony roślin	220
7.2. Bionawozy	221

7.3. Biostymulatory	227
7.4. Biologiczne środki ochrony roślin	232
Literatura	280

**ROZDZIAŁ 8**

<b>DODATKI DO ŻYWNOŚCI</b>	285
8.1. Regulacje prawne w zakresie stosowania substancji dodatkowych do żywności	285
8.2. Naturalne substancje dodatkowe dozwolone do stosowania w żywności	289
8.3. Substancje prozdrowotne i biologicznie czynne stosowane w żywności funkcjonalnej	308
Literatura	319

**ROZDZIAŁ 9**

<b>GOSPODAROWANIE KOMUNALNYMI OSADAMI ŚCIEKOWYMI W ŚWIETLE GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM</b>	324
9.1. Główne kierunki zagospodarowania odpadów	324
9.2. Strategia gospodarowania komunalnymi osadami ściekowymi	327
9.3. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji obszarów zdegradowanych	329
9.4. Technologie termicznej utylizacji osadów ściekowych oraz parametry ich spalania	336
Literatura	341

**ROZDZIAŁ 10**

<b>BIOPALIWA – PALIWA ALTERNATYWNE W TRANSPORCIE I ENERGETYCE</b>	346
10.1. Geneza biopaliw	346
10.2. Biopaliwa stałe	350
10.3. Biopaliwa płynne	359
10.4. Możliwości użycia biogazu jako paliwa alternatywnego	365
Literatura	390

## ROZDZIAŁ 11

<b>BIOPLASTIKI PRZYSZŁOŚCI – POLIMERY ZBUDOWANE Z HYDROKSYKWASÓW</b>	391
11.1. Geneza biopolimerów	391
11.2. Podział PLA i PHA pod względem budowy chemicznej	395
11.3. Substraty do produkcji PLA i PHA	403
11.4. Obszary zastosowań biopolimerów w gospodarce	422
11.5. Zastosowanie biopolimerów i ich pochodnych w medycynie	431
11.6. Przyszłe obszary zastosowań polimerów zbudowanych z hydroksykwasów	435
Podziękowania	438
Literatura	439



# WSTĘP

Niniejsza monografia stanowi efekt spotkań warsztatowych oraz wydarzeń realizowanych w ramach projektu Horyzont 2020 *BLOOM Boosting European Citizens Knowledge and Awareness of Bioeconomy Research and Innovation*, które zgromadziły naukowców i specjalistów zajmujących się różnymi obszarami biogospodarki z ośrodków naukowych w całej Polsce: Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Państwowej Akademii Nauk, Instytutu Katalizy i Fizykochemii Powierzchni w Krakowie, Instytutu Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. Projekt BLOOM realizowany jest przez konsorcjum podmiotów z Austrii, Niemiec, Holandii, Finlandii, Szwecji, Hiszpanii i Polski, aby wspierać wiedzę i świadomość obywateli Europy w obszarze biogospodarki, jej znaczenia, kierunków rozwoju i innowacji przez nią tworzonych. Celem prezentowanej książki jest przybliżenie Czytelnikom znaczenia pojęcia biogospodarki, jej wagi, jako instrumentu rozwoju zrównoważonego, aspektów instytucjonalnych oraz technologiczno-produkcyjnych w obszarze produkcji pierwotnej, wybranych aspektach produkcji żywności, wykorzystania odpadów biologicznych, bioenergii i biopolimerów.

Biogospodarka nie jest nowym konceptem, w czasach sprzed rewolucji przemysłowej biomasy stanowiły główny surowiec do produkcji dóbr, począwszy od żywności, poprzez odzież z włókien naturalnych, napęd transportowy i roboczy w postaci siły mięśni zwierząt, drewno, będące wówczas głównym surowcem energetycznym, czy też broń biologiczną od starożytności wykorzystywaną przez Hannibala, Aleksandra Wielkiego, armie tatarskie i chińskie. Surowce organiczne wciąż mogą zaspokoić większość potrzeb człowieka, niemal w pełni zastępując produkty konwencjonalnych rafinerii organicznymi odpowiednikami. Biogospodarka we współczesnym rozumieniu oznacza zrównoważoną produkcję odnawialnych zasobów biologicznych i przetwarzanie ich w leki, suplementy diety, żywność, pasze, towary przemysłowe (np. polimery, chemikalia) oraz energię i paliwa. Jest to dziedzina, która opiera się na interdyscyplinarnych podstawach nauk agronomicznych, biotechnologii, ekologii, naukach o żywieniu,

naukach społecznych, inżynierii i technologiach informatycznych oraz obejmuje co najmniej sektory: rolny, leśny, akwakultury, żywnościowy, celulozowy i papierniczy, chemiczny, biotechnologiczny, energetyczny i transportowy. Biogospodarka stanowi więc raczej swoisty *modus operandi*, dostosowany do potrzeb współczesnego społeczeństwa, umożliwiający obniżenie poziomu emisji podczas produkcji, wpisujący się w założenia gospodarki cyrkularnej, potencjalnie będący jednym z kluczowych narzędzi realizacji celów rozwoju zrównoważonego. Jednocześnie zasięg tematyki związanej z biogospodarką postawił przed autorami tej książki olbrzymie wyzwanie, opisanie wszystkich zagadnień z biogospodarką związanych jest bowiem zadaniem niezwykle trudnym, o ile nie niemożliwym. Należy w tym miejscu podkreślić, że nie było to celem jej autorów. Autorzy pragnęli przybliżyć Czytelnikowi dwa aspekty biogospodarki, ten instytucjonalny, osadzony w naukach społecznych, oraz ten związany z produkcją, pozyskiwaniem i zastosowaniem wybranych rodzajów biomasy. Podczas powstawania tej pracy oczywistym stało się, że są to kwestie, które w wielu punktach są nierozdzielne, a najbardziej widoczne było to w przypadku problematyki związanej z żywnością, której bezpieczne i sprawiedliwe wytwarzanie jest jednym z największych wyzwań nadchodzących dekad.

Książka składa się z 11 rozdziałów, które dotyczą dwóch umownych obszarów. Pierwszy z nich odnosi się do przemian rzeczywistości gospodarczej ostatnich 200 lat, których charakter przyczynił się do nadmiernej eksploatacji i zniszczenia środowiska naturalnego, wzrostu populacji na niespotykaną skalę i związanych z tym przemian społecznych i politycznych. Panowanie nad energią uwięzioną w paliwach kopalnych stało się kołem zamachowym globalnych przemian, których skutki ekologiczne i społeczne stanowią dziś zagrożenie dla całej cywilizacji ludzkiej. Światowy model gospodarowania nie może opierać się na zachowaniu typu *business as usual*. Zmiana klimatu i związane z nią procesy, problem dostępu do wody pitnej, dystrybucji żywności, zaniku bioróżnorodności, erozji gleb, zanieczyszczenia i zaśmiecienia środowiska i wiele innych kwestii, zmuszają do zmiany perspektywy i priorytetów gospodarczych. Nowe podejście do produkcji w obiegu zamkniętym oraz biogospodarka to tylko część narzędzi rozwoju zrównoważonego, a uzupełniają go przykładowo ekonomia współdzielenia lub ekonomia społeczna. Niewątpliwie ludzkość posiada narzędzia, które są w stanie zaspokoić jej potrzeby, bez odbierania na to szans przyszłym pokoleniom. Do zmiany paradygmatu gospodarowania niezbędna jest świadomość głównych podmiotów rynku, a szczególnie konsumentów i producentów gotowych do udziału w oddolnej demokracji (*grassroot*) i wywierania wpływu na sposób produkcji i konsumpcji. Jednak niemniej istotne jest stworzenie odpowiednich strategii i ram instytucjonalnych umożliwiających promowanie i wspieranie odpowiedzialnej społecznie i środowiskowo

produkcji, co stanowi przedmiot działań między innymi Komisji Europejskiej w odniesieniu do biogospodarki i gospodarki obiegu zamkniętego. Pewne działania widoczne są również w Polsce, i mimo że na poziomie krajowym brak tu strategii biogospodarki, na poziomie regionów widoczne jest zaangażowanie w projekty biogospodarkę wspierające. Jak już wspomniano, jeden z kluczowych obszarów biogospodarki związany jest z wytwarzaniem żywności. Autorzy książki poświęcili tej tematyce 4 rozdziały, odnosząc się do problemów bezpieczeństwa żywności, paradoksów jej produkcji i marnowania, dodatków do żywności, które same w sobie także stanowią produkt biogospodarki, jak i kwestii związanych z produkcją pierwotną oraz zrównoważonym rolnictwem, opierającym się na biologicznych metodach ochrony plonów. Kolejne rozdziały książki poświęcone zostały problematyce: odpadów biologicznych i ich znaczeniu, jako zasobu, wykorzystaniu biomasy w produkcji energii, ze szczególną uwagą położoną na potencjał biogazowni oraz tematyce wytwarzania biodegradowalnych biopolimerów, o szerokim zastosowaniu w przemyśle, życiu codziennym i medycynie.

Choć nie wyczerpano tu kwestii różnorodności produktów biogospodarki, jej aspektów technologicznych, pominięte zostały także pewne aspekty instytucjonalne związane z prawnymi, organizacyjnymi i gospodarczymi aspektami funkcjonowania biogospodarki; pominięto pułapki związane z kontrowersyjnym wykorzystaniem biotechnologii, nadprodukcji biomas i nieefektywnym wykorzystaniem ich wartości, autorzy mają nadzieję, że pozycja ta, choć w niewielkim stopniu, przyczyni się do rozpowszechnienia świadomości i wiedzy na temat możliwości gospodarki opartej na wykorzystaniu zasobów biologicznych.

# BIOGOSPODARKA JAKO NARZĘDZIE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

## 1.1. Konieczność zmiany paradygmatu gospodarczego. Koncepcja zrównoważonego rozwoju

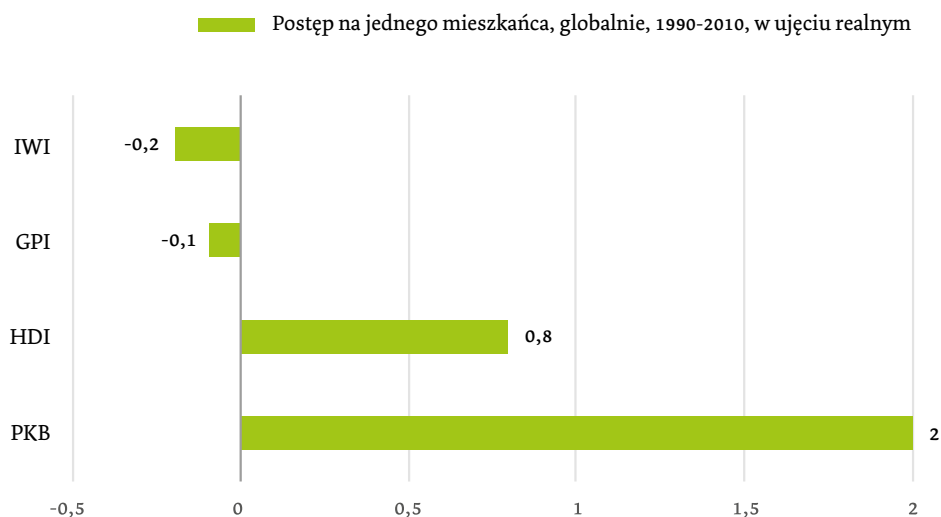
Lata intensywnego wzrostu gospodarczego były przede wszystkim sukcesem rynkowym. Świadczą o tym wartości miar rozwoju gospodarczego: produkt krajowy brutto *per capita*, *Human Development Index* – Wskaźnik Rozwoju Ludzkości (HDI), *Genuine Progress Indicator* – Prawdziwy Wskaźnik Postępu (GPI) i *Inclusive Wealth Index* – Inklusywny Wskaźnik Dobrobytu (IWI). PKB *per capita* stanowi techniczną miarę możliwości produkcyjnych gospodarki, HDI, poza wskaźnikiem gospodarczym, uwzględnia też kwestie społeczne, takie jak oczekiwana długość życia i lata poświęcone na edukację, a miary GPI i IWI – również elementy środowiskowe. Rysunek 1.1 przedstawia porównanie powyższych wskaźników postępu społeczno-gospodarczego.

To znaczące, że miara wzrostu gospodarczego wzrosła w największym stopniu. Niewątpliwie świat doświadczył także postępu w znaczeniu społecznym, choć nie tak spektakularnego jak wzrost samej gospodarki. Odbyło się to jednak kosztem środowiska – obydwaj wskaźniki, uwzględniające kapitał naturalny – GPI i IWI, w omawianym okresie przyjęły wartości ujemne. Należy się zastanowić, czy możliwy jest dalszy postęp, rozumiany jako dominacja celów gospodarczych nad środowiskowymi, oraz jakiego rodzaju narzędzia są potrzebne, by zaspokoić realne potrzeby populacji świata bez narażenia przyszłych pokoleń na niedobory surowców i zagrożenia środowiskowe.

Gospodarowanie w epoce paliw kopalnych nie jest gospodarowaniem zrównoważonym. Przyjęty w ostatnich 250 latach paradygmat gospodarczy przyczynił się do powstania świata nierówności – podzielonego na obszary uprzywilejowane i te, którym się gospodarczo nie powiodło, świata ekspansywnej gospodarki, definiującej własny cel jako nieustający wzrost. Ekonomia w różnych okresach, i przez przedstawicieli różnych szkół, była rozmaicie rozumiana.

A. Smith definiował ją jako poszukiwania przyczyn bogactwa i nędzy narodów. Współcześnie jedną z najpowszechniejszych jest definicja ekonomii autorstwa neoklasyka L. Robbinsa (1932): jest to nauka badająca ludzkie zachowania w relacji pomiędzy celami a ograniczonymi zasobami, które mogą mieć alternatywne zastosowania. Takie rozumienie ekonomii sprawia, że zasadnicza większość ludzkich wyborów nabiera ekonomicznego wymiaru – zasobem może być czas, relacje, składniki natury – *homo oeconomicus* w racjonalny sposób decyduje o właściwych alternatywach, osiągając maksimum użyteczności. Mimo że prawdopodobnie większość ludzi nie kalkuluje racjonalnie każdej decyzji, to założenie neoklasycznej szkoły ekonomicznej wiele mówi o jej wartościach, a maksymalizacja użyteczności i zysku stanowi podstawę gospodarczej filozofii obowiązującego paradygmatu gospodarczego.

**Rysunek 1.1.** Porównanie miar postępu społeczno-gospodarczego na świecie w latach 1990–2010



Źródło: opracowanie na podstawie Kubiszewski i in. 2013, UNEP 2014.

Inne problematyczne założenie ekonomii głównego nurtu stanowi przekonanie o nieograniczonych potrzebach człowieka, które uzasadniają konieczność ciągłego wzrostu gospodarczego, oraz twierdzenie D. Ricarda (1913, s. 48), które dało legitymizację myśleniu o wzroście opartym na eksploatacji: „(...) nic się nie płaci za korzystanie z wody, powietrza i w ogóle darów przyrody istniejących w ilości nieograniczonej”. Skutkiem powyższych założeń było powstanie gospodarki dążącej do coraz wyższego poziomu produkcji i konsumpcji, co w konsekwencji powoduje coraz większą ilość odpadów. Ilość odpadów generowana na

osobę w różnych regionach świata różni się, przede wszystkim ze względu na poziom zamożności obszaru gospodarczego (tabela 1.1).

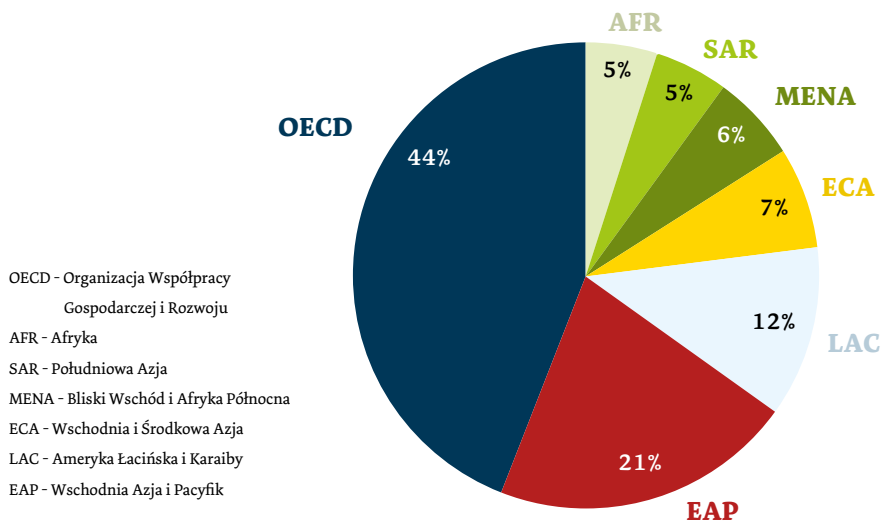
**Tabela 1.1.** Odpady generowane na osobę, w kilogramach w ciągu dnia, według regionów

Region	Ilość wygenerowanych odpadów na osobę w ciągu dnia, w kg		
	dolna granica	górną granica	średnio
Afryka (AFR)	0,09	3,0	0,65
Azja Wschodnia i Pacyfik (EAP)	0,44	4,3	0,95
Azja Wschodnia i Środkowa (ECA)	0,29	2,1	1,1
Ameryka Łacińska i Karaiby (LAC)	0,11	5,5	1,1
Bliski Wschód i Afryka Północna (MENA)	0,16	5,7	1,1
OECD	1,10	3,7	2,2
Azja Południowa (SAR)	0,12	5,1	0,45

Źródło: Hoornweg i Bhada-Tata 2012.

Największy udział w generowaniu odpadów mają kraje OECD, w najmniejszym stopniu przyczyniają się do tego problemu kraje Afryki i Azji Południowej (rys. 1.2).

**Rysunek 1.2.** Generowanie odpadów według regionów

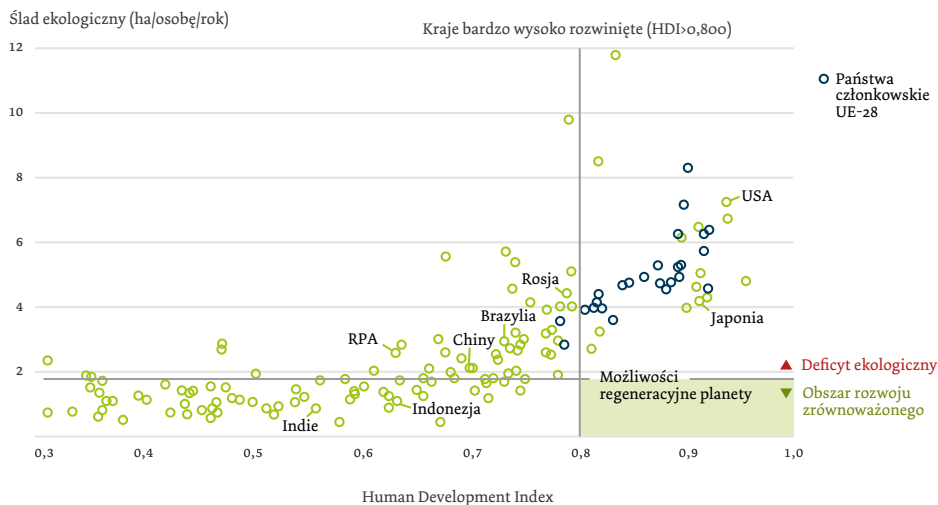


Źródło: Hoornweg i Bhada-Tata 2012.

Spektakularnym przykładem zaśmiecenia świata jest wciąż rosnąca wielka pacyficzna wyspa śmieci. Roczna konsumpcja plastiku na świecie wynosi ok. 320 mln ton, w ostatniej dekadzie wyprodukowano więcej plastiku niż w całym poprzedzającym ją półwieczu. W okresie 1950–2015 6,3 mld ton plastiku trafiło na wysypiska, przy czym 9% zostało poddane recyklingowi, 12% spalone, a 79% zalega w środowisku, w tym w oceanach (Rhodes 2018). Wyniki badań opublikowane w czasopiśmie „Nature” wskazują, że po oceanie dryfuje 79 tys. ton plastiku, które zajmują 1,6 mln km<sup>2</sup> (Lebreton i in. 2018). Ostatnich 50 lat było okresem niespotykanego dotychczas przyspieszenia wzrostu wskaźników opisujących gospodarkę i społeczeństwo, w tym: światowej populacji, PKB, zużycia energii, ilości nawozów, międzynarodowych inwestycji bezpośrednich, zużycia wody, energii, surowców, populacji miejskiej, przy jednoczesnym wzroście poziomu CO<sub>2</sub> i metanu w atmosferze, wycinki lasów tropikalnych, degradacji gleb, zakwaszenia oceanów i spadku bioróżnorodności (Weizsäcker i Wijkman 2018, s. 17). Ta ekspansja przyniosła skutek w postaci przekroczenia poziomów ryzyka granic możliwości planety, szczególnie w odniesieniu do integralności biosfery i utraty bioróżnorodności oraz gospodarki azotem i fosforem. Rosnące ryzyko dotyczy zmiany klimatu zmian w systemie gospodarowania ziemią (Steffen i in. 2015). Niewątpliwie główną siłą napędową tego procesu jest wzrost populacji, jej względne bogacenie się, które przekłada się na potrzeby i pragnienia konsumpcyjne. Jeżeli trend ten nie ulegnie zmianie, w 2050 r. Ziemia będzie domem dla blisko 10 mld ludzi. Do 2030 r. 3 mld mieszkańców Azji – głównie z Chin i Indii – dołączy do uprzywilejowanej grupy konsumentów z klasy średniej, której cechą charakterystyczną jest między innymi określony poziom konsumpcji. Oznacza to dalszy wzrost produkcji, konsumpcji i odpadów. Wzrost ten jednak wydaje się niemożliwy, a trwanie obecnej cywilizacji już obecnie odbywa się na kredyt przyszłych pokoleń.

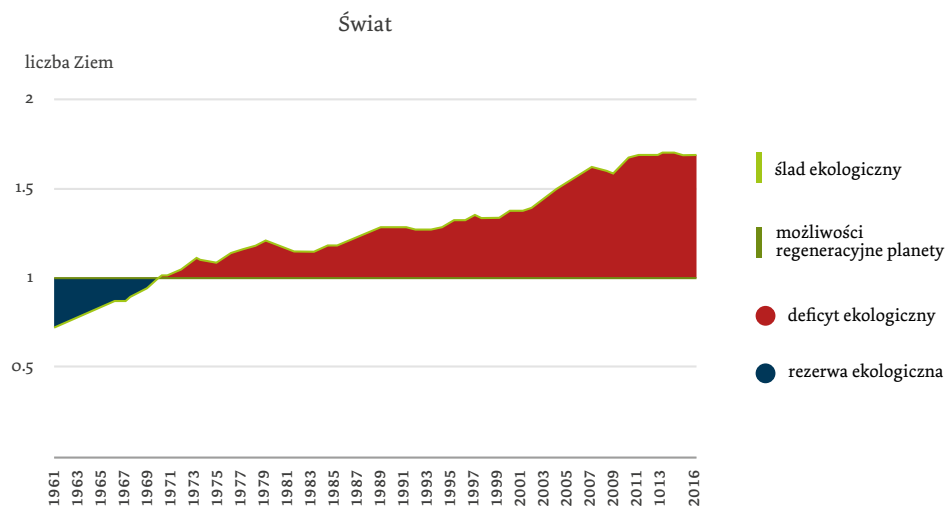
Wszystkie kraje wysoko rozwinięte, których wskaźnik HDI wynosi powyżej 0,800, przekroczyły już granicę możliwości biologicznych Ziemi. Wysoki poziom życia w krajach średnio rozwiniętych i rozwijających się oznacza, że zasobów nie wystarczy dla wszystkich (rys. 1.3).

### Rysunek 1.3. Ślad środowiskowy, możliwości planety i poziom rozwoju



Źródło: Potočnik 2017.

### Rysunek 1.4. Liczba Ziemi pozwalająca zaspokoić bieżące potrzeby ludzkości



Źródło: Global Footprint Network 2019.

Od 1970 r. ludzkość wyczerpała swoje rezerwy ekologiczne i zaczęła żyć na kredyt. W 2016 r. poziom produkcji i konsumpcji sięgnął możliwości, które generowałyby 1,7 planety. Te informacje stawiają pod znakiem zapytania styl życia, do którego przywykli mieszkańcy krajów wysoko rozwiniętych, oraz



szanse na rozwój tych rejonów, które jeszcze nie doświadczyły dobrobytu. Jest to źródłem dylematów etycznych, ale przede wszystkim stawia ludzkość przed problemem technicznym dotyczącym tego, jak zmienić system produkcji, by zniwelować eksploatację planety. Świat współczesny jest niewątpliwie bardziej komfortowy niż był w minionych wiekach. Istnieje jednak wielkie ryzyko, że jest on również bardziej komfortowy niż ten nadchodzący, między innymi z następujących powodów:

- 1) wciąż narastają nierówności społeczne i gospodarcze: w 2018 r. 26 najbogatszych mieszkańców Ziemi dysponowało takim samym majątkiem jak najuboższe 3,8 mld ludności, czyli połowa populacji, 262 mln dzieci nie mogą uczestniczyć w edukacji, mężczyźni posiadają średnio o 50% większy majątek niż kobiety, mimo że świadczona przez kobiety nieodpłatna praca opiekuńcza szacowana jest na 10 bln USD, czyli 43-krotne roczne obroty korporacji Apple (Oxfam Report 2019);
- 2) 800 mln ludzi cierpi z powodu głodu, 2 mld – z powodu niedożywienia, a kolejne 2 mld – z powodu otyłości. Jednocześnie globalnie marnowana jest średnio 1/3 wyprodukowanej żywności, co przekłada się na 1,3 mld ton jedzenia (FAO 2019);
- 3) zagrożenia środowiskowe, według danych FAO, pozbawią kolejne pokolenia możliwości korzystania z zasobów: prawie 90% światowych zasobów ryb morskich jest obecnie w pełni eksploatowanych, nadmiernie eksploatowanych lub wyczerpywanych. Masowo giną gatunki; na tzw. czerwonej liście (*Red List of Threatened Species*) znalazło się 40% płazów, 31% rekinów i płaszczyk, 33% raf koralowych, 27% skorupiaków wodnych, 25% ssaków, 14% ptaków oraz 34% gatunków drzew iglastych (IUCN). 33% gruntów jest średnio lub bardzo zdegradowanych z powodu erozji, zasolenia, zbiccia, zakwaszenia i chemicznego zanieczyszczenia gleb;
- 4) według danych World Health Organization 91% populacji świata żyje w miejscu, w którym jakość powietrza przekracza normy ustalone przez WHO, 4,2 mln przedwczesnych zgonów co roku spowodowane jest ekspozycją na smog zewnętrzny, 3,8 mln przedwczesnych śmierci następuje w wyniku ekspozycji na opary z brudnych pieców i spalanie paliw w pomieszczeniach;
- 5) na skutki zmian klimatu najbardziej narażone są populacje zamieszkujące niewielkie wyspy, kraje rozwijające się i średnio rozwinięte, regiony znajdujące się w izolacji, ubogie w ziemię rolną, zamieszkujące w lokalizacjach wysokiego ryzyka, w warunkach zdegradowanego środowiska i gleby. Wrażliwość na zmiany klimatu potęgowana jest także przez wzrost populacji, biedę, złą infrastrukturę, zależność od zjawisk i zasobów naturalnych (np. opadów) oraz procesów (np. odsalania wody). Obszary szczególnie wrażliwe na zmianę klimatu przedstawiono w tabeli 1.2.

**Tabela 1.2.** Skutki zmiany klimatu w wybranych obszarach

Obszar	Obserwowane i oczekiwane skutki zmian klimatu
Rolnictwo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zwiększona częstotliwość i dotkliwość chorób upraw</li> <li>– Zwiększona erozja gleby</li> <li>– Straty w produkcji rolnej i plonach ze względu na ekstremalne warunki pogodowe</li> </ul>
Woda pitna	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zmiany w dystrybucji wody pitnej</li> <li>– Mniejsza dostępność i gorsza jakość wody</li> </ul>
Zdrowie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Głód i niedożywienie wywołane rosnącym brakiem bezpieczeństwa żywnościowego</li> <li>– Wzrost zachorowań na choroby przenoszone przez skażoną wodę, przykładowo biegunki</li> <li>– Wzrost zachorowań na choroby wektorowe, np. malarię</li> <li>– Wzrost śmiertelności w wyniku ekstremalnych warunków pogodowych</li> </ul>
Lasy	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wzrost i dalszy oczekiwany wzrost ilości i częstotliwości pożarów lasów</li> <li>– Zmiana dystrybucji gatunków leśnych</li> </ul>
Bioróżnorodność	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zmiana momentu i czasu trwania okresu wegetacji</li> <li>– Zmiana dystrybucji gatunków</li> <li>– Zagrożenie i wymieranie gatunków</li> </ul>
Strefy przybrzeżne	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zwiększone ryzyko powodzi i zalewania, ze względu na warunki pogodowe</li> <li>– Zwiększona erozja wybrzeża</li> <li>– Zmiany w przybrzeżnych ekosystemach</li> <li>– Zmiana wzorca depozycji osadów</li> </ul>
Rybołówstwo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zmiana wielkości populacji oraz dystrybucji gatunków morskich wywołana zakwaszeniem oceanu i zmianami w cyrkulacji oceanicznej</li> <li>– Utrata i zniszczenie siedlisk życia morskiego</li> </ul>
Turystyka	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spadek znaczenia turystyki zimowej w związku z coraz mniejszą pokrywą śniegową</li> <li>– Zagrożenie stanowisk archeologicznych i zabytkowych budynków ze względu na ekstrema pogodowe</li> <li>– Ze względu na erozję wybrzeża i podnoszenie się poziomu morza zagrożenie nadmorskich kierunków turystycznych</li> </ul>
Energetyka	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wyzwania w związku z generowaniem ciepła</li> <li>– Wyższy popyt na chłodzenie</li> <li>– Straty gospodarcze spowodowane przerwami w dostawie energii wywołanymi ekstremalnymi warunkami pogodowymi</li> </ul>

Źródło: United Nations Climate Change Secretariat 2019.

Choć wiele szkód poczynionych w wyniku nieodpowiedzialnego gospodarowania jest nieodwracalnych, na współczesnym pokoleniu spoczywa ciężar odpowiedzialności za przekierowanie sposobu gospodarowania do innego paradygmatu, przeformułowania celów gospodarowania, a co najważniejsze – wdrożenia metod produkcji, które nie będą generowały efektów zewnętrznych. Tym

paradygmatem jest ekonomia zrównoważonego rozwoju. Definiowanie tego pojęcia nastrocza badaczom wielu problemów, czego efektem jest jego kilkaset definicji. Przykładowo B. Carroll (2002) zidentyfikowała ponad 500 definicji. Wielość definicji wynika między innymi z interdyscyplinarnego charakteru tego pojęcia. W podejściu ekonomicznym, bazującym na linearnym modelu procesu gospodarczego, paradygmat zrównoważenia może wydawać się wewnętrznie sprzeczną koncepcją. Bez przeformułowania celów gospodarczych, a więc odrzucenia wzrostu gospodarczego i maksymalizacji korzyści jednostki, jako najwyższych wartości w gospodarce, dyskusja o zrównoważonym rozwoju nie ma merytorycznego sensu, gdyż normatywny charakter tej koncepcji wychodzi od wartości (lecz nie wartości księgowych), którymi ekonomia heterodoksyjna od dawna się nie zajmuje.

Punktem wyjścia ekonomii zrównoważonego rozwoju jest nakreślenie ram aksjologicznych, moralnych i technicznych, w których dochodzi do procesu gospodarowania, w odróżnieniu od ekonomii heterodoksyjnej, która stawiając cele jednostkowe, dostosowuje do nich sposób gospodarowania. Ekonomia zrównoważonego rozwoju pozornie ogranicza wolność jednostek w odniesieniu do tego, co, jak i dla kogo produkują, w rzeczywistości jednak umożliwia realizację wartości wolności i równości przyszłym pokoleniom oraz współczesnej populacji z obszarów nieuprzywilejowanych. *Sustainable development*<sup>1</sup> – rozwój zrównoważony uwzględnia obszar społeczny, gospodarczy i środowiskowy. Przyświecają mu takie wartości, jak egalitaryzm oraz odpowiedzialność międzypokoleniowa. W najpełniejszy sposób podejście to oddaje definicja sformułowana na podstawie stanowiska Komisji Gro Harlem Brundtland: „zrównoważony rozwój zaspokaja podstawowe potrzeby wszystkich ludzi oraz zachowuje, chroni i przywraca kondycję i integralność ekosystemu Ziemi, bez zagrożenia możliwości zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń, nie przekraczając długookresowych granic wytrzymałości ekosystemu Ziemi” (Stappen 2006, s. 27–28). W podobnym duchu utrzymana jest definicja stosowana przez Komisję Europejską, zgodnie z którą: „zrównoważony rozwój ma na celu zaspokajanie potrzeb obecnego pokolenia w taki sposób, aby nie uniemożliwić zaspokojenia swoich potrzeb przyszłym pokoleniom. Opiera się

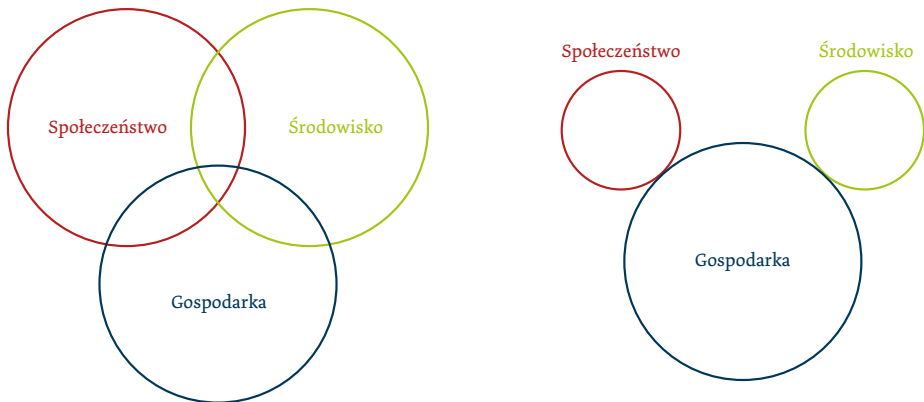
---

<sup>1</sup> W niniejszej monografii sformułowanie „rozwój zrównoważony” będzie wyrażać założenia koncepcji *sustainable development*. Sformułowanie takie przyjęto między innymi w dokumentach Unii Europejskiej i Konstytucji RP. Pojawia się również w odniesieniu do Celów Rozwoju Zrównoważonego (*Sustainable Development Goals*). Termin ten w języku polskim budzi kontrowersje i część teoretyków opowiada się za przyjęciem nazewnictwa „rozwój zrównoważony i trwały” (Górka 2007), „trwały rozwój” (Żylicz 2001; Śleszyński 2011) lub „zrównoważony i trwały rozwój” (Malik 2004), jako bardziej trafnych tłumaczeń koncepcji *sustainable development*.

on na kompleksowym podejściu łączącym kwestie gospodarcze, społeczne i środowiskowe w sposób, który zapewnia ich wzajemne wzmacnianie się” (Komisja Europejska, 2017).

Realizacja założeń zrównoważonego rozwoju, czyli tak naprawdę zagwarantowanie ludzkości warunków do życia, wydaje się możliwa tylko w ujęciu modelu silnego zrównoważenia. Wdrażany od kilkadziesiąt lat model klasyczny i tzw. model Myski Miki (rys. 1.5) nie przyniosły istotnych zmian w odniesieniu do ochrony integralności środowiska ani wyrównywania szans międzypokoleniowych, co opisano szczegółowo w ostatnim raporcie Klubu Rzymskiego (Weizsäcker, von; Wijkman 2018).

**Rysunek 1.5.** Modele słabego zrównoważenia: *Tripple Bottom Line* i *Micky Mouse*



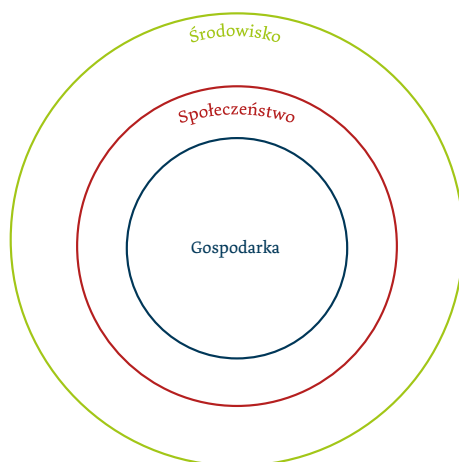
Źródło: Elkington 1997, Peet 2009.

Pierwszy model, klasyczny, pozostawia niewielką przestrzeń dla zrównoważonego rozwoju, drugi zaś prezentuje częsty przypadek, gdy kwestie społeczne i środowiskowe są jedynie drugorzędym dodatkiem, często o charakterze marketingowym lub PR-owym dla działalności gospodarczej. Nie jest odkrywcze stwierdzenie, że każdy system gospodarczy osadzony jest w społeczeństwie, którego warunkiem trwania jest sprzyjający życiu ekosystem. Ta logika narzuca więc model silnego zrównoważenia.

Priorytetem w silnie zrównoważonym rozwoju jest uznanie faktu, że element środowiskowy jest kluczowy i nie podlega substytucji. Narzuca to istotne techniczne ograniczenia dotyczące dotychczasowego modelu gospodarowania, otwierając jednocześnie możliwości rozwoju, tworzenia miejsc pracy, wzmacniania różnych form kapitału (w tym społecznego i naturalnego). Ten potencjał może być realizowany w ramach:

- gospodarki niskoemisyjnej,
- gospodarki obiegu zamkniętego,
- biogospodarki,
- gospodarki 3R (*reduction* – zmniejszenie ilości, *reusing* – powtórne zużycie, *recycling* – przetworzenie),
- C2C oraz ekonomii współdzielenia i wielu nowych koncepcji, które przewartościowują dotychczasowe cele gospodarowania.

**Rysunek 1.6.** Model silnego zrównoważenia (*Doughnut Model*)



Źródło: Adams 2006.

Wymienione koncepcje uzupełniają się, w wielu obszarach są tożsame lub bardzo zbliżone, a ich założenia i narzędzia stanowią jednocześnie zestaw narzędzi ekonomii zrównoważonego rozwoju.

## 1.2. Założenia zrównoważonej konsumpcji i zrównoważonej produkcji

Dane zamieszczone w *Living Planet Report* WWF (2018) wskazują, że zrównoważony rozwój, realizowany w dotychczasowym zakresie i tempie, nie przynosi oczekiwanych efektów. Analiza wskaźników *Living Planet Index* oraz *Ecological Footprint* przyczyniła się do sformułowania w przytoczonym raporcie następującej tezy: „obecny system rozwoju ludzkości, oparty na wzrastającej konsumpcji i kopalnych paliwach, w połączeniu ze wzrastającą liczbą ludności i słabym ogólnym zarządzaniem, w tym zasobami naturalnymi, jest

niezrównoważony” (Pabian 2015, s. 203). Aby zahamować zaobserwowane negatywne dla środowiska tendencje, konieczne staje się przekształcenie współczesnych społeczeństw konsumpcyjnych w społeczeństwa zrównoważone, oparte na zrównoważonej produkcji i konsumpcji. Konsumpcja odgrywa w tej transformacji szczególną rolę, ponieważ determinuje wielkość oraz strukturę procesów produkcyjnych (Pabian 2015, s. 203).

J. Rifkin w swej książce *Koniec pracy, schyłek siły roboczej na świecie i początek ery postrykowej* (2001) zauważa: „w pierwszej formie konsumować oznaczało zniszczyć, obrabować, podbić. Jest to słowo nasycone przemocą i aż do końca XX wieku miało wyłącznie negatywne konotacje” (Rifkin 2001, s. 23). Przejście konsumpcji z kategorii zła do cnoty jest jednym z najważniejszych, choć najmniej zbadanych fenomenów XX w. (Kramer 2011, s. 7–8).

Mówiąc o niezrównoważonej, nadmiernej konsumpcji, należy również wspomnieć o konsumpcji postmodernistycznej, a więc nietrwałej, szybkiej i na pokaz (Słaby 2006, s. 16–17). Niezrównoważone wzorce konsumpcji i produkcji coraz bardziej wpływają nie tylko na środowisko, ale także na społeczeństwo, gospodarkę i przedsiębiorstwa. Unia Europejska coraz bardziej uzależnia się przy tym od importu energii oraz zasobów naturalnych. Skutkuje to koniecznością zmiany sposobu życia w kierunku bardziej zrównoważonego, co oznacza, że należy osiągnąć lepsze wyniki, wykorzystując przy tym mniejszą ilość zasobów (*Racjonalniej...* 2010, s. 4). Dlatego istotne jest, aby konsumpcjonizm, który stanowi siłę napędową tych zmian, dążył do stopniowego zrównoważenia, odpowiednio do założeń zrównoważonego rozwoju. W tym celu konsument tradycyjny, który dostosowuje się do rynku i ma niską świadomością ekologiczną, powinien ewoluować w konsumenta podkreślającego indywidualność poprzez wysoką świadomością konsumencką, wybierającego przy tym produkty bezpieczne dla środowiska.

Pomimo że rynek został już nasycony produktami zaspokajającymi podstawowe potrzeby konsumentów, aby gospodarka mogła prawidłowo się rozwijać, niezbędny jest nieustanny wzrost konsumpcji (Bywalec 2007, s. 163–164), która powinna mieć jednak charakter konsumpcji zrównoważonej.

Skala zagrożenia wynikającego z nadmiernej konsumpcji dóbr powinna przyczynić się do stworzenia nowego, współczesnego wzorca konsumpcji, tj. świadomej oraz zrównoważonej, stanowiącej jeden z elementów idei zrównoważonego rozwoju.

R. De Young w badaniach nad psychologicznymi aspektami ludzkiej motywacji proponuje rozwiązania dla zachowań konsumpcyjnych, dających wewnętrzną satysfakcję z redukcji konsumpcji. W badaniach tych wskazuje się trzy zasadnicze postawy względem środowiska (Pieńkowski 1997, s. 69):

- 1) zorientowanie na samego siebie – antropocentryczne podejście skupione na zainteresowaniu środowiskiem z racji fizycznych lub materialnych korzyści, jakie konsument może uzyskać z określonych zachowań w środowisku;
- 2) zorientowanie na świat – zgeneralizowane podejście do samej biosfery, często określane jako ekocentryzm;
- 3) zorientowanie prospołeczne – altruistyczne podejście skupione na dobrobycie innych ludzi, kierowanie się normami społecznymi i moralnymi innych jednostek.

Zrównoważona konsumpcja wymaga, aby decyzja konsumencka realizowana była według czterech zasad imperatywu ekologicznego konsumenta: selekcji rodzaju energii lub materii, minimalizacji zużycia energii lub materii, maksymalizacji efektywności wykorzystania energii lub materii, segregacji odpadów, co przedstawia rysunek 1.7.

**Rysunek 1.7.** Imperatywy ekologiczny konsumenta



Źródło: Michaliszyn i Janikowski 1997, s. 66.

Kolejnym trendem, zbliżającym współczesną konsumpcję do konsumpcji zrównoważonej, jest biogospodarka, w której chociażby wytwarzanie żywności ekologicznej odbywa się w sposób nienaruszający równowagi ekologicznej, z wykorzystaniem naturalnych metod i z zapewnieniem czystości wód gruntowych, chroniąc gleby przed zanieczyszczeniem (Wasilik 2014, s. 66–74).

Komisja Europejska (2014) podkreśla, że wybory dokonywane przez konsumentów mogą wspierać zrównoważoną konsumpcję lub wręcz ją hamować. Promowanie tej idei wymaga zmian zachowań po stronie popytu, szczególnie że do 2030 r. przewiduje się wzrost w skali globalnej klasy średniej o ok. 3 mld osób, co zapewne przełoży się na ogólnoswiatowy wzrost konsumpcji. Problem ten stanowi duże wyzwanie, zważywszy na rosnącą liczbę ludności na świecie. Zmiana obecnego modelu konsumpcji na zrównoważoną jest koniecznością,

uwzględniając obecny model konsumpcji, dla której oszacowano zużycie zasobów na poziomie 140 mld ton w 2050 r., co jest trzykrotnością obecnego zużycia surowców naturalnych (*Mapa drogowa* 2019).

Zmiana zachowań konsumentów, jak też wytworzenie ekologicznego imperatywu działania są procesami długotrwałymi i trudnymi. Choć obecnie zauważa się wzrost zainteresowania konsumentów ochroną środowiska, którzy uświadamiają sobie związek własnych działań z innymi sferami życia społecznego i gospodarczego (Małysa-Kaleta 1997, s. 32), to badania dotyczące zrównoważonej konsumpcji wskazują, iż poziom wiedzy konsumenckiej Polaków w tym obszarze jest nadal niski, a czynnikiem decydującym przy dokonywaniu wyborów konsumenckich w dalszym ciągu jest cena. Zmiana sposobu myślenia i nawyków konsumenckich tak, aby konsument przy zakupie produktów kierował się kryteriami ekologicznymi, w rezultacie przyczyni się do wywierania presji na producentów.

Występowaniu ekologicznych zachowań konsumentów, a więc czynników kształtujących popyt i model konsumpcji zrównoważonej, powinna towarzyszyć podaż produktów ekologicznych i przyjaznych środowisku, tj. rozwój zrównoważonej produkcji (Adamczyk 2004, s. 30).

Przedsiębiorstwa, chcąc wyróżnić się ekologicznymi technologiami, powinny inwestować w kształcenie w takich dziedzinach, jak nauki ścisłe i przyrodnicze oraz inżynieryjne. Innowacyjność w obszarze zielonych technologii poprawia konkurencyjność, zarówno w stosunku do konkurentów krajowych, jak i zagranicznych (Berger 2011, s. 314). Niedobór odpowiednio wykwalifikowanej kadry, znającej specyfikę ekologicznych technologii i ich produkcji, jest jednym z największych zagrożeń na drodze do zrównoważonej gospodarki (Adamus 2010, s. 309–310).

W Polsce istnieje duży potencjał, jeżeli chodzi o poprawę w zakresie działań dotyczących odpadów przemysłowych, w szczególności pochodzących z działalności górniczej i wydobywczej, przetwórstwa przemysłowego oraz wytwarzania i zaopatrywania w energię. Prowadzenie coraz mniej odpadowej działalności produkcyjnej, zagospodarowanie jak największej ilości odpadów przemysłowych w innych procesach produkcyjnych oraz w innych obszarach społecznych i gospodarczych może znacząco przyczynić się do zwiększania opłacalności produkcji w Polsce (*Mapa drogowa...* 2019), a także do realizacji założeń zrównoważonej produkcji.

W wyniku współpracy Programu Narodów Zjednoczonych ds. Rozwoju (UNDP) i Europejskiej Agencji Środowiskowej (European Environment Agency – EEA) w 2007 r. powstał raport, w którym zrównoważona produkcja i zrównoważona konsumpcja definiowana jest jako całościowe podejście do minimalizowania negatywnego oddziaływania na środowisko istniejących systemów



produkcji i konsumpcji. Za cel takiego podejścia uznaje się zwiększenie wydajności i efektywności procesów produkcyjnych, usługowych i inwestycyjnych w taki sposób, aby zaspokajanie potrzeb społeczeństw nie zagrażało możliwościom zaspokajania potrzeb przyszłych pokoleń.

Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP) zrównoważoną produkcję definiuje jako wytwarzanie towarów i usług, które (*Zrównoważona...* 2011, s. 23):

- wykorzystuje procesy i systemy, które nie zanieczyszczają środowiska (ograniczające zanieczyszczanie środowiska),
- oszczędza energię i surowce,
- jest realistyczne pod względem ekonomicznym,
- jest bezpieczne, tj. nie zagraża zdrowiu ludzi,
- jest bezpieczne społecznie i twórczo opłacalne dla wszystkich pracujących ludzi.

Ze zrównoważoną produkcją i zrównoważoną konsumpcją związana jest także realizacja zasady, która dotyczy racjonalnej gospodarki odpadami (Cras-Saar i Saar 1999, s. 21–28).

W zrównoważonej produkcji działania ukierunkowane na konsumentów podkreślają znaczenie m.in. trwałości produktów, dostępności informacji w zakresie naprawy i części zamiennych czy eliminowania fałszywych twierdzeń dotyczących wpływu na środowisko. Kluczowym zadaniem konsumenta jest natomiast prawidłowe gospodarowanie odpadami komunalnymi, które pomimo że stanowią niewielki odsetek odpadów generowanych w Polsce, mają istotne oddziaływanie w zakresie świadomości (*Mapa drogowa...* 2019), a warunkiem funkcjonowania modelu zrównoważonej produkcji i zrównoważonej konsumpcji jest rzetelna wiedza wynikająca z wysokiej świadomości ekologicznej wszystkich uczestników rynku. W dobie silnego rozwoju środków masowego przekazu społeczeństwo czerpie także informacje z radia, telewizji, prasy oraz internetu, stąd należy zwracać uwagę na jakość i poprawność przekazywanych treści. W programowaniu idei zrównoważonej produkcji i zrównoważonej konsumpcji ważną funkcję mogą pełnić także określone organizacje i instytucje (Leśniak 2009, s. 104).

W celu implementacji założeń zrównoważonej produkcji i zrównoważonej konsumpcji stworzono wiele narzędzi na poziomie instytucjonalnym i prawnym. Wśród proponowanych warto wyróżnić program zarządzania środowiskowego EMAS (*Environmental Management Auditing Scheme* – system oceny jakości zarządzania UE), etykietowanie środowiskowe oraz analizę cyklu życia produktu. Działania te są powiązane ze zintegrowaną polityką produktową Unii Europejskiej, której celem jest zmniejszenie niekorzystnego wpływu na środowisko

poprzez kontrolę wszystkich faz cyklu życia produktu i skoncentrowanie odpowiednich działań tam, gdzie będą one najefektywniejsze. Zarówno EMAS, jak i ekoetykiety mają na celu zachęcenie przedsiębiorstw do myślenia w kategoriach cyklu życia produktów (*Integrated...* 2015).

Środki UE w sprawie zrównoważonej produkcji i zrównoważonej konsumpcji koncentrują się na czterech głównych celach: lepsze produkty, bardziej racjonalna konsumpcja, bardziej efektywna i ekologiczna produkcja oraz wsparcie działań globalnych.

Podsumowując, zrównoważona konsumpcja dotyczy stylu życia, zachowań nabywczych konsumentów oraz użytkowania i usuwania produktów i usług. Zrównoważona produkcja natomiast polega głównie na ograniczaniu oddziaływania procesów produkcyjnych na środowisko oraz przede wszystkim, w myśl głównej zasady zrównoważonego rozwoju, na stosowaniu się w projektowaniu produktów do zasady prewencji.

### 1.3. Biogospodarka – definicja i znaczenie

Biogospodarka (*bioeconomy*) nie jest wynalazkiem XXI w. W okresie poprzedzającym rewolucję przemysłową stanowiła ona najważniejszą gałąź gospodarki, gwarantując leki, żywność, odzież, transport, budulec i ogrzewanie domostw, czasami nawet broń, czyli zaspokajając wszystkie podstawowe potrzeby człowieka dzięki odnawialnym zasobom biologicznym. Współcześnie wciąż odgrywa podobną rolę, ale rozwój nauki pozwolił jej również na przejęcie licznych funkcji pełnionych przez rafinerie ropy naftowej. Warto jednak prześledzić ewolucję pojęcia biogospodarki, gdyż w jego historii zawarta jest także ewolucja poglądów na kształt gospodarki jako takiej. Po raz pierwszy zbliżony termin – „bioekonomia” (*bioeconomics*) został wykorzystany w latach 60. XX w. przez J. Zemana, a następnie N. Georgescu-Roegenę, którzy wskazywali na biologiczne podstawy niemal wszystkich rodzajów działalności gospodarczej. Drugi wspomniany badacz wykazywał również niemożność realizowania planu nieograniczonego wzrostu, jako niezgodnego z prawem natury (Bonaiuti 2015).

Termin „bioekonomia” różni się jednak od terminu „biogospodarka”. Według J. von Brauna (2014) to drugie pojęcie zostało sformułowane po raz pierwszy dopiero w latach 90. XX w. przez dwóch genetyków J.E. Cabota i R. Martinezę, którzy w 1998 r. stwierdzili, że: „działalność gospodarcza oparta na badaniach naukowych i wdrożeniach skupiających się na zrozumieniu mechanizmów i procesów na molekularnym (genetycznym) poziomie, celem wdrożenia i zastosowania w procesach przemysłowych, doprowadzi do zmian w światowej gospodarce i będzie stanowić podstawę do powstania nowego sektora” (Martinez 1998). Podejście

to cechuje pewne zawężenie idei biogospodarki. Kolejne definicje, formułowane już w XXI w., znacznie rozszerzyły rozumienie sektora biogospodarki oraz wprowadziły istotny środowiskowy kontekst. Jest on zauważalny zwłaszcza w definiowaniu biogospodarki przez instytucje Unii Europejskiej, dla której wsparcie tego sektora stanowi element szerszej strategii zrównoważonego rozwoju.

W 2005 miała miejsce jedna z pierwszych europejskich konferencji dotyczących biogospodarki, pod tytułem *New Perspectives on the Knowledge-Based Bio-Economy* („Nowe perspektywy biogospodarki opartej na wiedzy”), podczas której podkreślono, że bazująca na wiedzy biogospodarka jest zrównoważoną, efektywną środowiskowo transformacją odnawialnych zasobów biologicznych w produkty służące zdrowiu, żywność, energię i inne produkty przemysłowe; w 2007 r. podczas konferencji *En Route to the Knowledge-Based Bio-Economy* („Transformacja w kierunku biogospodarki opartej na wiedzy”), w Kolonii, zawarto w tekście pt. *Cologne Paper* ramowe rozumienie biogospodarki, obejmującej problematykę żywności, biomateriałów, bioprocessów, bioenergii, biomedycyny i wyłaniających się koncepcji technologicznych (McCormick, Kautto 2013). W lutym 2012 r. Komisja Europejska uszczegółowiła definiowanie tego zjawiska: „biogospodarka” oznacza gospodarkę opierającą się na zasobach biologicznych pochodzenia lądowego i morskiego oraz odpadach, w tym odpadach z produkcji żywności, wykorzystywanych w przemyśle i do produkcji energii. Pojęcie obejmuje także bioprocessy realizowane dla zielonych gałęzi przemysłu (Komisja Europejska 2012a). Rok wcześniej, w projekcie BECOTEPS (EPSO 2011) zaproponowano definicję, według której biogospodarka oznacza zrównoważoną produkcję i przetwarzanie odnawialnych zasobów biologicznych na produkty żywnościowe, medyczne, włókna, towary przemysłowe oraz bioenergię. Odnawialną biomasę stanowią wszelkie substancje pochodzenia organicznego mogące stanowić surowiec. Rok 2018 przyniósł działania uzupełniające nad strategią biogospodarki w Europie, których celem stało się wzmocnienie relacji między gospodarką, środowiskiem naturalnym i społeczeństwem. W dokumencie *A Sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and environment* podkreślony jest interdyscyplinarny charakter biogospodarki. Biogospodarka obejmuje wszystkie sektory i systemy opierające się na zasobach biologicznych (zwierzętach, roślinach, mikroorganizmach i biomasie przez nie wytworzonej, włączając w to odpady biologiczne), ich funkcje i zasady. Obejmuje i łączy: ekosystemy lądowe i morskie oraz świadczone przez nie usługi; wszystkie sektory produkcji pierwotnej, które wykorzystują i wytwarzają zasoby biologiczne (rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo i akwakultura); oraz wszystkie sektory gospodarki i przemysłu, które wykorzystują zasoby i procesy biologiczne do produkcji żywności, pasz, dóbr przemysłowych powstałych z biomas, energii i usług.

By odnieść sukces, europejska gospodarka musi opierać się na zrównoważeniu oraz obiegu zamkniętym. Stanowią one drogę do modernizacji przemysłu i systemów produkcji, ochrony środowiska i poprawy bioróżnorodności (Komisja Europejska 2018). Widoczne jest więc wyraźne odejście od ściśle biotechnologicznego rozumienia terminu w kierunku rozszerzenia jego znaczenia, uczynienia sposobem funkcjonowania gospodarki, co znacznie wykracza poza funkcjonowanie biogospodarki wyłącznie jako pewnego sektora, a czyni z niej narzędzie paradygmatu zrównoważonego rozwoju. Kluczowy w rozumieniu biogospodarki będzie więc realizowany przez nią charakter działań, których celem jest oczywiście zaspokajanie potrzeb społeczeństwa poprzez przyjazną środowisku produkcję biomas i tworzonych z nich dóbr.

**Definiowanie biogospodarki nie jest jednoznaczne i ewoluuje w czasie, zależne jest również od uwarunkowań lokalnej specyfiki rynkowej:**

Definicja Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) (2009 r.): „Biogospodarka może być rozumiana jako rzeczywistość, w której biotechnologia stanowi istotny wkład w wynik gospodarczy. Jest wysoce prawdopodobnym, że powstająca biogospodarka stanie się globalnym systemem opartym na regułach rozwoju zrównoważonego. Biogospodarka obejmuje trzy elementy: wiedzę biotechnologiczną, odnawialne biomasy oraz integrację pomiędzy różnymi zastosowaniami”.

Capital Economics, TBR and E4tech for the Biotechnology and Biological Sciences Research Council and the Department for Business, Innovation & Skills, *Evidencing the Bioeconomy* (2016): „Biogospodarka polega na produkcji biomasy i konwersji odnawialnych zasobów biologicznych w produkty o wartości dodanej, takie jak żywność, produkty przemysłowe oparte na biomasie i bioenergia. Jest ukonstytuowana wokół działań obejmujących procesy transformacyjne z wykorzystaniem zasobów biologicznych. Są to działania począwszy od tradycyjnego rolnictwa (...) upraw i hodowli, aż do najbardziej zaawansowane biologicznie terapie medyczne”.

THE WHITE HOUSE OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY POLICY (2019): „Biogospodarka odnosi się do infrastruktury, innowacji, produktów, technologii i uzyskanych danych z procesów biologicznych i nauki, które napędzają wzrost gospodarczy, i pozytywnie wpływają na zdrowie publiczne, rolnictwo i bezpieczeństwo. Produkty biogospodarki są niezwykle różnorodne i mają niemal nieograniczoną perspektywę zastosowań i generowania wartości; począwszy od nowych metod leczenia nowotworów, poprzez technologie produkcji leków, plastików, materiałów i produktów przemysłowych; gatunków roślin odpornych na działanie szkodników, kończą na systemach informacyjnych opartych na DNA, które mogą przechowywać więcej danych, niż było to kiedykolwiek wcześniej możliwe”.

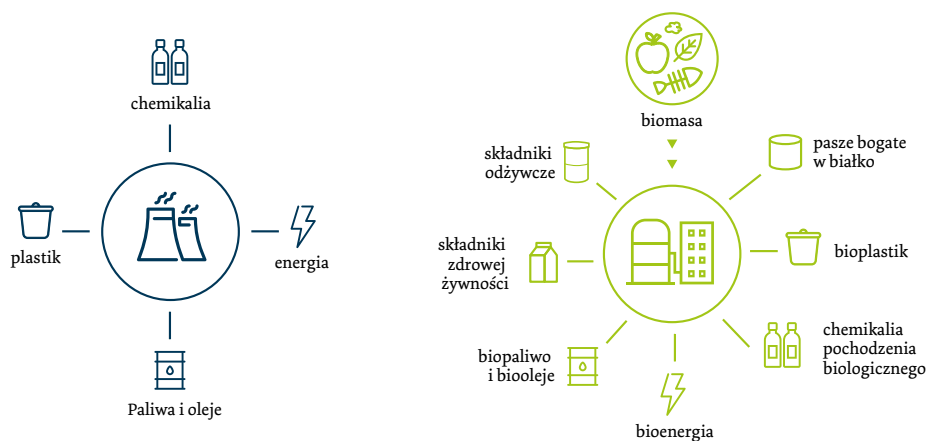
Dokonując przeglądu definicji, można wyodrębnić rozmaite podejścia do tematu biogospodarki, zależne od celów, wartości, oczekiwań i problemów, wobec których stawali autorzy. W literaturze wyróżnia się trzy podejścia, które nie wykluczają się, a często założenia tych koncepcji uzupełniają się i przenikają. Pierwsza koncepcja bliska jest definicji J. Martineza i sprowadza biogospodarkę

do podejścia biotechnologicznego, którego celem jest generowanie miejsc pracy i wzrostu gospodarczego, dzięki rozwojowi badań biotechnologicznych, innowacjom i patentom, a potencjał zawiera się w innowacyjnych badaniach biotechnologicznych. Drugie podejście – biosurowcowe, koncentruje się na obszarach rolnictwa, gospodarki leśnej i morskiej oraz bioenergii, czyli na sektorach tradycyjnych. Celem jest tu generowanie wzrostu gospodarczego w ramach zrównoważonego rozwoju. Potencjał tak rozumianej biogospodarki tkwi w konwersji zasobów biologicznych. Typ ten cechuje interdyscyplinarność, optymalizacja wykorzystania surowców odnawialnych oraz gleb, zagospodarowywanie odpadów i rekultywacja obszarów zdegradowanych. Trzeci typ – bioekologiczny, za cel stawia zrównoważony rozwój, ochronę bioróżnorodności i ekosystemu. Rozwój produkcji opiera się na lokalnych zasobach, zrównoważonym rolnictwie, ekologicznej produkcji i konsumpcji, gospodarce obiegu zamkniętego (Bugge i in. 2016). Wszystkie te podejścia łączy w sobie przywoływana powyżej definicja Komisji Europejskiej (2012).

### Rysunek 1.8. Transformacja w kierunku biogospodarki

Terażniejszość: Rafineria ropy naftowej

Przyszłość: Biorafineria



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Lange 2016.

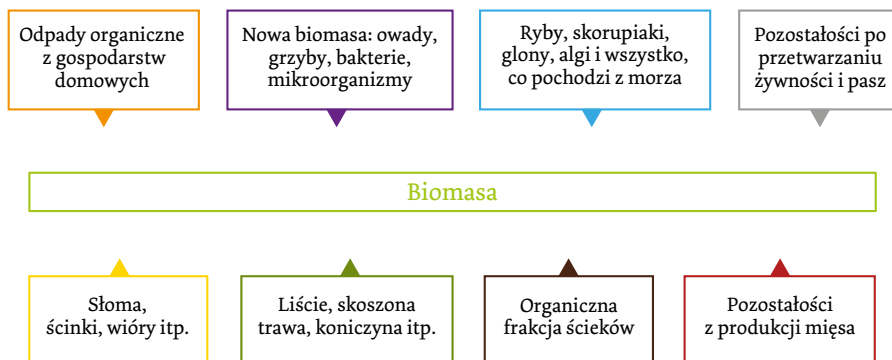
Biogospodarka stanowi jedną z odpowiedzi na problemy współczesności – rosnącą populację, zgłaszającą coraz większy popyt na żywność oraz niezrównoważoną, wysokoemisyjną produkcję dóbr konsumpcyjnych; generuje przy tym znaczącą liczbę miejsc pracy, co czyni ją narzędziem doskonale wpisującym się w instrumentarium zrównoważonego rozwoju. Transformacja w kierunku społeczeństwa opartego na biogospodarce niesie ze sobą mniejszą ilość odpadów,

optymalizację wykorzystania plonów, rozwój alternatywnych dla ropopochodnych materiałów: bioplastików, biochemikaliów, bioenergii; produkcję wysokiej jakości składników odżywczych, wysokobiałkowych pasz; jednocześnie umożliwia zrównoważoną cyrkulację składników odżywczych w glebie. Biomasy już przy obecnym poziomie wiedzy umożliwiają wytworzenie większej ilości produktów niż ropa naftowa. Kierunkiem rozwoju jest więc przejście od konwencjonalnej rafinerii w kierunku biorafinerii.

Biorafinowanie – w ramach nowych gałęzi biogospodarki: biotechnologii, biochemii, przemysłu biotekstylnego czy biochemicznego – nie stanowi jedyne go kierunku wykorzystania potencjału biomasy, najbardziej rozpoznawalne są wciąż tradycyjne sektory biogospodarki: rolnictwo, ogrodnictwo, leśnictwo, rybołówstwo, produkcja żywności, produkcja pasz czy przemysł papierniczo-celulozowy (Szymańska i in. 2017).

Wielość źródeł biomasy uświadamia jej olbrzymi potencjał i znaczenie dla minimalizacji ilości generowanych odpadów. Na rysunku 1.9 przedstawiono źródła biomasy według rodzajów – kolorów.

**Rysunek 1.9.** Źródła biomasy

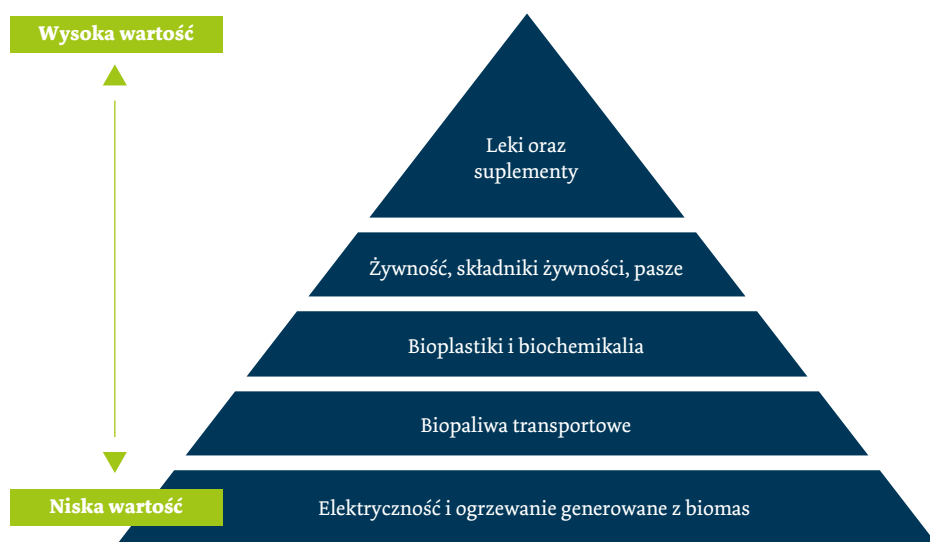


Źródło: opracowanie własne na podstawie: Lange 2009.

Żółta biomasa to między innymi ścinki drewna, wióry lub słoma. Biomasa taka może zostać poddana tzw. biorafinowaniu, czyli z wykorzystaniem enzymów dochodzi do rozbicia biomasy na cząsteczki proste, w tym przypadku celulozy na cząsteczki glukozy, będące pożywką dla mikroorganizmów, które produkują z niej przykładowo bioetanol, bioplastiki lub biochemikalia. Roślinną biomasę można rozbić również na białka, włókna celulozy, hemicelulozy czy ligninę i na ich podstawie wytwarzać nowe produkty. Proteiny znajdują zastosowanie w tworzeniu pasz, celuloza, jak już wspomniano – bioplastików, biochemikaliów i biopaliw, hemiceluloza służy do produkcji dodatków

do żywności, w tym prebiotyków, a lignina – np. materiałów kompozytowych stosowanych w budownictwie. Zielona biomasa, przykładowo trawa i koniuczyna, stanowi surowiec do produkcji dodatków do pasz. Niebieska biomasa pochodzi z połowów morskich, nie oznacza jednak wyłącznie pełnowartościowego pokarmu, są to wszystkie pozostałości – szkielety, pancerze, muszle, glony, algi, wodorosty, meduzy, strzykwy itp. Biomasa morska wykorzystywana jest jako składnik pasz, żywności, źródło kolagenu stosowanego w kosmetykach i środkach pielęgnacyjnych, źródło oleju rybiego i białek używanych w produkcji suplementów żywnościowych. Przykładem wykorzystania szarej biomasy jest pozyskiwanie i wykorzystywanie serwatki, która jest obecnie co najmniej równie ważna jak sam ser i wykorzystuje się ją jako surowiec w biogazowniach, w produkcji żywności dietetycznej, specjalistycznej, typu *light*, odżywkach, mleku zastępczym i w produkcji pasz. Organiczne odpady komunalne stanowią bazę do produkcji kwasów organicznych, bioplastików, kompostu i biogazu, natomiast brązowa biomasa, czyli organiczna frakcja ścieków, to substrat dla bakterii produkujących bioplastik, źródło fosforu do zastosowań w rolnictwie i rekultywacji ziem oraz surowiec do produkcji biopaliwa. Te przykłady nie wyczerpują zastosowań biomasy, pokazują jednak zakres ich wykorzystania i niewątpliwy potencjał, jaki się w nich kryje. Odmienne sposoby wykorzystania biomasy mają jednak różną wartość, zależności te przedstawiono na rysunku 1.10.

**Rysunek 1.10.** Piramida wartości biomasy



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Lange 2016.

Spalanie biomasy i biopaliw generuje najniższą wartość, ponieważ dochodzi do wykorzystania nie potencjału struktury biomasy, a jedynie jej zawartości energetycznej. Zoptymalizowanym, zrównoważonym sposobem zastosowania biomasy jest wykorzystanie pełnego potencjału każdego ze składników – zawartości energetycznej, składowych elementów strukturalnych i składników odżywczych. Oznacza to, że należy dążyć do wykorzystania jak największej ilości biomasy dla produktów z górnej części piramidy wartości: suplementów, leków, składników odżywczych, żywności, pasz, oraz do zastąpienia produktów ropopochodnych substancjami pochodzenia biologicznego i nowymi materiałami, takimi jak np. bioplastiki.

Biogospodarka stanowi jedno z istotniejszych narzędzi wdrażania zasad rozwoju zrównoważonego pozwalające już teraz mitygować skutki nadmiernej eksploatacji zasobów naturalnych. Środowiskowy sens tego rozwiązania może stanowić przynajmniej częściową odpowiedź na dwie istotne kwestie: wysokiej emisji produkcji i ograniczoności zasobów. XX wiek przyniósł poważne obawy co do kwestii zasobów. Wyrażał je opublikowany w 1972 roku raport Klubu Rzymskiego „Granice Wzrostu” (Meadows i in. 1973). Autorzy raportu przestrzegali przed sytuacją, gdzie już w okresie 100 lat może zabraknąć zasobów, co skutkować miało zahamowaniem i zastojem wzrostu gospodarczego. Czarny scenariusz, jak do tej pory, nie spełnił się, gdyż autorzy nie uwzględnili w swoich prognozach postępu technologicznego. Aktualnie rzeczowy problem bariery surowcowej, czyli fizyczny brak minerałów, nie stanowi bezpośredniego zagrożenia dla możliwości gospodarowania (Górka, 2014). Uwzględniając jednak rosnące zapotrzebowanie na surowce nieodnawialne, zagrożenie nakreślone przez autorów Klubu Rzymskiego nie może być ignorowane.

W niektórych regionach brak surowców staje się faktem. W większości przypadków jednak głównym problemem jest kryzys zaopatrzenia związany z problemami politycznymi, zbrojnymi, dynamiką cen, obawami dotyczącymi stanu środowiska naturalnego. Obserwuje się również tendencję do pozyskiwania zasobów z coraz mniej atrakcyjnych i czystych złóż, co skutkuje wzrostem kosztu eksploatacji i zarządzania odpadami. Tempo pozyskiwania surowców długo utrzymywało się na poziomie 4–5% rocznie, jednak ich zużycie w latach 1981–1995 było większe niż łączne zużycie w całym okresie od początków ich eksploatacji do 1980 roku (Górka, 2012).

Współczesne predykcje wskazują, że zasoby ropy naftowej wystarczą jeszcze na 50,2 lat, gazu ziemnego 52,6, a węgla na 134<sup>2</sup> (*BP Statistical Review...* 2018). Odnawialne źródła energii, w tym biogospodarka, stanowią tu jednak

---

<sup>2</sup> Szczegółowe dane dotyczące nieodnawialnych zasobów surowców energetycznych przedstawiono w rozdziale II.



alternatywę. Bardziej niepokojące są jednak szacunki dotyczące złóż metali, opublikowane przez Departament Spraw Wewnętrznych USA w 2013 roku, które wskazują, że globalne zasoby metali wyczerpią się jeszcze w tym wieku (por. tabela 1.3).

**Tabela 1.3.** Światowa produkcja i szacowane zasoby metali, 2012

Pierwiastek	Produkcja (w tonach)	Światowe zasoby (w tonach)	Statystyczna wystarczalność (w latach)
Mangan	16 000	630 000	~ 39
Nikiel	2 100 000	75 000 000	~ 36
Cynk	13 000 000	250 000 000	~ 19
Miedź	17 000 000	680 000 000	~ 40
Srebro	24 000	540 000	~ 23
Złoto	2 700	52 000	~ 19
Kobalt	110 000	7 500 000	~ 68
Wolfram	73 000	3 200 000	~ 44

Źródło: Departament Spraw Wewnętrznych USA (2013), *Mineral Commodities Summaries 2013*, US Geological Survey, Reston Virginia.

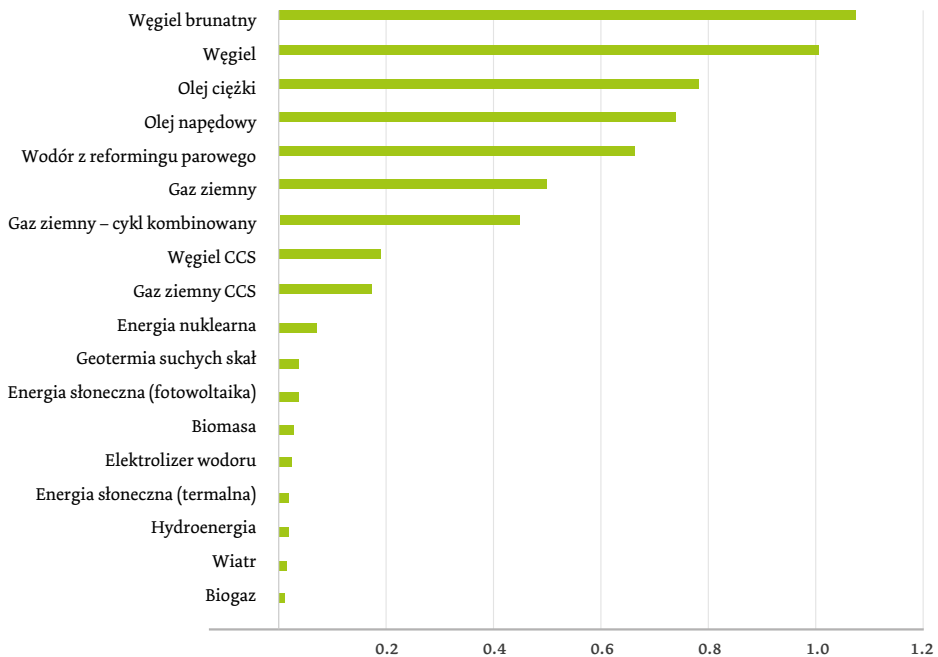
O ile energia odnawialna, w tym ta pochodząca z biomasy, jest alternatywą dla surowców energetycznych, o tyle w odniesieniu do metali jedynym rozwiązaniem wydaje się być zmiana paradygmatu gospodarki linearnej w kierunku cyrkularnej.

Drugą istotną cechą, która czyni z biogospodarki narzędzie rozwoju zrównoważonego, jest potencjalnie niewielka emisyjność tego rodzaju działalności. Na rysunku 1.11 przedstawiono porównawcze wielkości emisji gazów cieplarnianych na przykładzie produkcji energii.

Biomasa jest źródłem energii o wyjątkowo niskiej emisyjności w porównaniu z wciąż najpowszechniej wykorzystywanymi paliwami kopalnymi. Znacząco niższą emisyjność mają również bioplastiki w porównaniu z plastikami konwencjonalnymi. Tworzywa pochodzenia biologicznego mają przewagę nad konwencjonalnymi tworzywami sztucznymi, zmniejszając zależność od ograniczonych zasobów kopalnych i zmniejszając emisję gazów cieplarnianych. Już w procesie wzrostu rośliny zatrzymują atmosferyczny dwutlenek węgla. Wykorzystanie roślin do produkcji tworzyw sztucznych przyczynia się więc do redukcji CO<sub>2</sub> w atmosferze, który jest następnie (trwale, o ile produkt będzie poddany recyklingowi) magazynowany w tworzywie. Zaspokojenie globalnego

rocznego popytu na polietylen na bazie paliw kopalnych substytucyjnym bioplastikiem zapobiegłoby emisji 42 mln ton CO<sub>2</sub> (european-bioplastics.org, dostęp: 31.03.2020). Obniżenie emisji gospodarki w biogospodarce odbywa się również dzięki wykorzystaniu strumieni bocznych biomasy, będących surowcem dla biogospodarki, a odpadem w gospodarce konwencjonalnej. Kraje Unii Europejskiej w 2015 roku wygenerowały 241 mln ton odpadów komunalnych, z czego 40–60% stanowiły odpady organiczne, cechujące się wysokim poziomem wilgotności i zawartością soli, które prowadzą do szybkiego procesu rozkładu i licznych niepożądanych zjawisk, poczynając od odorów, poprzez emisję gazów cieplarnianych, na odciekach i problemach sanitarnych kończąc. Jednak potraktowane jako surowiec służą produkcji nawozów, biopestycydów, bioplastików i bioenergii (Vea, Romeo, Thomsen, 2018).

**Rysunek 1.11.** Emisje gazów cieplarnianych (GHG) dla wybranych źródeł energii (kg ekwiwalentu CO<sub>2</sub>/kWh – wartości średnie)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Schirone L., Pellitteri F. (2017), *Energy Policies and Sustainable Management of Energy Sources*, Sustainability 9(12).

Niska emisyjność bioenergii i bioplastiku, zmiana koncepcji odpadów, właściwości roślin, pozwalające im wylapywać i magazynować CO<sub>2</sub>, to tylko wybrane przykłady cech, czyniących z biogospodarki narzędzie rozwoju zrównoważonego.

## 1.4. Biogospodarka a gospodarka o obiegu zamkniętym

Jednym z powodów degradacji środowiska jest niezrównoważona konsumpcja, która jest tym większa, im wyższy jest poziom uprzemysłowienia. Współcześni konsumenci nadal wybierają oferty produktowe, które w jak najwyższym stopniu zaspokoją ich oczekiwania i pragnienia, często nie uwzględniając przy tym aspektów środowiskowych. Przedsiębiorstwa, chcąc zaspokoić popyt, wytwarzają coraz większą ilość produktów, co wiąże się ze wzrastającą potrzebą zapewnienia surowców, materiałów, energii, wody, paliw oraz innych komponentów niezbędnych do wytworzenia produktów. Zaspokajanie potrzeb konsumentów, oparte na obecnym, linearnym modelu gospodarki: „weź, wytwórz, wyrzuć”, powoduje wzrost generowanych odpadów na niespotykaną wcześniej skalę<sup>3</sup>. Wśród przykładowych źródeł odpadów mogących wystąpić w działalności przedsiębiorstw wymienia się: nadprodukcję, zapasy, transport i wadliwe produkty (Chaudhary i in. 2014).

Zaobserwowane tendencje wskazują na konieczność zmiany sposobu obecnej gospodarki linearnej na gospodarkę o obiegu zamkniętym (*circular economy*), która zakłada przejście na zrównoważoną, niskoemisyjną i zasobooszczędną gospodarkę. Dzięki takiemu podejściu wartości produktów, materiałów i zasobów przy wytwarzaniu utrzymywane są tak długo, jak to tylko możliwe. Przedsiębiorstwa realizujące nową koncepcję zarządzania implementują przy tym rozwiązania umożliwiające efektywne i korzystne dla środowiska zarządzanie procesami gospodarowania odpadami. Nowoczesne zarządzanie przedsiębiorstwem powinno zatem traktować ochronę środowiska jako integralną część procesu zarządzania (Leszczyńska 2011, s. 32–33).

W literaturze przedmiotu coraz częściej terminy *circular economy*, *sustainable development* i *bioeconomy* zyskują na popularności, jednakże podobieństwa i różnice między tymi koncepcjami pozostają niejednoznaczne.

Biogospodarka, podobnie jak gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ), oparta jest na modelu „od kołyski do kołyski” (*cradle-to-cradle* – C2C), który naśladuje naturalne procesy biologiczne do projektowania bądź wytwarzania technologii i produktów (McDonough i Braungart 2002). Można zatem założyć,

---

<sup>3</sup> Jednym z podstawowych problemów współczesnej gospodarki są narastające ilości odpadów niewykorzystywanych ponownie. Według danych GUS z 2016 r. w latach 2000–2007 oraz 2011–2012 ilość wytworzonych odpadów w Polsce (z wyłączeniem odpadów komunalnych) utrzymywała się na względnie stałym poziomie, tj. ok. 120 mln ton. Najniższą wartość odpadów, w granicach 111–115 mln ton, odnotowano w latach 2008–2010, co mogło być spowodowane m.in. spowolnieniem gospodarczym kraju. W 2015 r. wytworzono 142 mln ton odpadów, z czego 131 mln ton (tj. 92%) stanowiły odpady inne niż komunalne.

że podstawowym elementem gospodarki o obiegu zamkniętym jest biogospodarka, która zgodnie z definicją zaproponowaną przez Komisję Europejską obejmuje produkcję odnawialnych zasobów biologicznych oraz przekształcanie tych zasobów i powstających w procesie przetwarzania odpadów w produkty o wartości dodanej, takie jak: żywność, pasze, bioprodukty i bioenergia (Komisja Europejska 2012). Biogospodarka polega zatem na optymalnym, odpowiedzialnym i zrównoważonym zagospodarowaniu biologicznych zasobów odnawialnych. Pojęcie to należy rozpatrywać, uwzględniając nie tylko surowce, ale również branże produkcyjne. W projekcie mapy drogowej GOZ przyjęto, że: „biogospodarka stanowi podstawę funkcjonowania pierwszego sektora gospodarki, na który składają się rolnictwo, leśnictwo i rybactwo, a także wielu gałęzi drugiego sektora, w tym przemysłu spożywczego, paszowego, leśno-drzewnego, celulozowo-papierniczego, farmaceutycznego, tekstylnego, meblarskiego, budownictwa, biotechnologicznego, kosmetycznego, paliwowego czy recyklingu organicznego” (*Mapa drogowa GOZ 2019*). Być może realizacja poszczególnych działań wymienionych w przytoczonym dokumencie sprawi, że biogospodarka stanie się jednym z kół zamachowych wdrażania obiegu zamkniętego.

Pod koniec 2015 r. Komisja Europejska opublikowała komunikat „Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym”. Zawarto w nim propozycje działań, które mają przyczynić się do zmiany obecnie funkcjonującego, linearnego modelu gospodarczego. Działania obejmują wszystkie etapy cyklu życia, a ponadto koncentrują się na kilku obszarach priorytetowych, takich jak: tworzywa sztuczne, odpady żywności, surowce krytyczne, odpady rozbiórkowe i budowlane oraz biomasa i bioprodukty. Ponieważ działania te odnoszą się do wykorzystania odpadów z żywności, biomasy i bioproduktów, można dostrzec w nich związek z założeniami biogospodarki.

Gospodarka o obiegu zamkniętym wykorzystuje strategię recyklingu, umożliwiając tym samym ograniczenia zużycia ropy naftowej, emisji CO<sub>2</sub> i unieszkodliwiania odpadów. Recykling w tym znaczeniu prowadzi do redukcji odpadów, a tym samym do zmniejszenia zużycia materiałów poprzez obniżenie lub ponowne wykorzystanie produktu, stosowanie alternatywnych biodegradowalnych materiałów, jak też odzyskiwanie energii w formie paliwa. Głównym celem gospodarki o obiegu zamkniętym jest uzyskanie jak najwyższego poziomu odzysku i recyklingu odpadów, a następnie ich ponowne zagospodarowanie w produkcji. Opiera się ona na powszechnie uznawanym diagramie opracowanym przez Ellen MacArthur Foundation, który zakłada istnienie dwóch cykli: biologicznego (obejmującego surowce odnawialne) oraz technicznego (obejmującego surowce nieodnawialne). Do cyklu biologicznego należy zaliczyć działania spełniające dwa warunki: posiadające walor cyrkularności oraz dotyczące zasobów odnawialnych – biomasy (Ellen Macarthur Foundation 2015).

**Rysunek 1.12.** Gospodarka o obiegu zamkniętym

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Ellen Macarthur Foundation, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic> (dostęp: 4.02.2020).

Zarówno biogospodarkę, jak i gospodarkę o obiegu zamkniętym uznaje się za sektory, które obecnie stanowią ważny element produkcji, ale których potencjał nie został jeszcze wykorzystany. Celem ich realizacji należy prowadzić innowacyjne zmiany oraz podjąć się implementacji nowych modeli biznesowych.

Pośród KIS-ów (Krajowych Inteligentnych Specjalizacji) odnaleźć można zarówno obszary powiązane z biogospodarką (np. innowacyjne technologie, procesy i produkty sektora rolno-spożywczego i leśno-drzewnego, biotechnologiczne i chemiczne procesy, bioprodukty i produkty chemii specjalistycznej oraz inżynierii środowiska), jak i z gospodarką o obiegu zamkniętym (nowy KIS: gospodarka o obiegu zamkniętym – woda, surowce kopalne, odpady – powstały w 2019 r. z połączenia trzech części składowych w jedną specjalizację o cyrkularnym podejściu).

Należy podkreślić, że transformacja w kierunku biogospodarki oraz gospodarki o obiegu zamkniętym będzie możliwa jedynie wskutek przeorganizowania modelu funkcjonowania praktycznie wszystkich uczestników rynku, w tym kluczowych jego aktorów, tj. przedsiębiorców i konsumentów, którzy powinni realizować założenia zrównoważonej produkcji oraz zrównoważonej konsumpcji.

Model produkcji odnawialnych zasobów biologicznych (stanowiący podstawowy element GOZ) opiera się na cyklu biologicznym obejmującym strumienie biologicznych materiałów odnawialnych, które są w większości regenerowane. Model ten naśladuje naturalne procesy biologiczne w projektowaniu i wytwarzaniu technologii i produktów. Podstawowym surowcem biogospodarki jest biomasa, czyli produkty i surowce o charakterze odnawialnym, wytwarzane w rolnictwie, leśnictwie, rybactwie czy gospodarce odpadami. Obecnie poza produkcją żywności biomasę najczęściej wykorzystuje się do celów energetycznych; głównie do bezpośredniego spalania oraz w niewielkim stopniu do produkcji paliw płynnych.

GOZ przewiduje znacznie szersze zastosowanie biomasy, ponieważ jedną z nadrzędnych idei gospodarki o obiegu zamkniętym jest utrzymywanie zasobów jak najdłużej w obiegu gospodarczym z zachowaniem ich jak największej wartości. Zamiast spalania biomasy należy zatem dążyć do jej jak najszerszego stosowania w przemyśle chemicznym czy kosmetycznym, co nie tylko pozwala na stworzenie nowych produktów, ale również na zastąpienie surowców opartych na nieodnawialnych zasobach węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego. Z uwagi na biodegradowalność i łatwość recykulacji biomasy jej zastosowanie jako surowca w przemyśle obniża poziom zanieczyszczeń emitowanych do środowiska w całym cyklu życia produktu (<https://www.plastech.pl/wiadomosci/Rola-odpadow-w-gospodarce-o-obiegu-zamknietym-12147?p=5>, dostęp: 15.11.2019).

## Literatura

- Adamczyk W. (2004), *Ekologia wyrobów*, PWE, Warszawa.
- Adams W.M. (2006), *The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century*, [w:] *The IUCN Renowned Thinkers Meetings*.
- Adamus Ł. (2010), *Kwalifikacje dla „zielonych” miejsc pracy*, „Journal of Ecology and Health” nr 6.
- Berger R. (2011), *Zielony wzrost, zielony zysk: Jak zielona rewolucja stymuluje gospodarkę*, Wolters Kluwer Polska, Warszawa.
- Biały Dom (The White House) (2012), *National Bioeconomy Blueprint*, Washington.
- Bonaiuti M. (2015), *Bio-economics*, [w:] G. D’Alisa, F. Demaria, G. Kallis (eds) *Degrowth: A Vocabulary for a New Era*, Routledge–Taylor & Francis Group, New York.
- BP Statistical Review of World Energy (2018), 67th edition, June.
- Bugge M.M., Hensen T., Klitkou A. (2016), *What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature*, „Sustainability”, vol. 8(691).
- Bywalec C. (2007), *Konsumpcja w teorii i praktyce gospodarowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Capital Economics, TBR and E4tech for the Biotechnology and Biological Sciences Research Council and the Department for Business, Innovation & Skills (2016), *Evidencing the Bioeconomy*.
- Carroll B. (2002), *Sustainable Development: An Eclectic View*, CIWEM International Dictionary 2003, Cameron Publishing, London.

- Chaudhary N., Singh T., Kumar A. (2014), *Sustainable Product Design: A Review, International*, „Journal of Electronics & Communicaton Technology”, vol. 5.
- Cras-Saar M., Saar M. (1999), *Bo Praktikan. Att leva miljöriktigt och få en bättre ekonomi*, Scapa Förlags AB, Nyköping.
- Departament Spraw Wewnętrznych USA (2013), *Mineral Commodities Summaries 2013*, US Geological Survey, Reston Virginia.
- Elkington J. (1997), *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Lines of 21st Century Business*, Capstone Publishing, Oxford.
- Ellen Macarthur Foundation, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic> (dostęp: 4.02.2020).
- Ellen Macarthur Foundation (2015) *KU GOSPODARCE O OBIEGU ZAMKNIĘTYM: BIZNESOWE UZASADNIENIE PRZYSPIESZONEJ ZMIANY* <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/PL-Towards-a-Circular-Economy-Business-Rationale-for-an-Accelerated-Transition-v.1.5.1.pdf> (dostęp: 4.02.2020).
- EPSO European Plant Science Organisation (2011), *The European Bioeconomy in 2030: Delivering Sustainable Growth by addressing the Grand Societal Challenges*. [european-bioplastic.org](http://european-bioplastic.org), *Do bioplastics have a lower carbon footprint than fossil based plastics? How is this measured?* (dostęp: 31.03.2020).
- FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019), *The State of Food and Agriculture. Moving forward on food loss and waste reduction*, Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Global Footprint Network (2019), *National Footprint Accounts*, <http://data.footprintnetwork.org/#> (dostęp: 13.11.2019).
- Górka K. (2007), *Wdrażanie koncepcji rozwoju trwałego i zrównoważonego*, „Ekonomia i Środowisko”, 2(32).
- Górka K. (2012), *Zasoby naturalne, Zrównoważony rozwój – wyzwania globalne*, (red. P. Trzepacz), Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.
- Górka K. (2014), *Zasoby naturalne jako czynnik rozwoju społeczno-gospodarczego*, „Gospodarka w Praktyce i Teorii”, 3(36).
- Hoornweg D., Bhada-Tata P. (2012), *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management*, Urban Development Series, Knowledge Papers, World Bank, Washington.
- Integrated Product Policy (IPP)* (2015), <http://ec.europa.eu/environment/ipp> (dostęp: 13.11.2019)
- IUCN International Union for Conservation of Nature (2019), *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-3*. <http://www.iucnredlist.org> (dostęp: 15.12.2019).
- Komisja Europejska (2012a), *Bio-economy Newsletter*, February. [http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/press/pdf/120202\\_research\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/press/pdf/120202_research_en.pdf).
- Komisja Europejska (2012), *Komunikat KE do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów*. COM(2012) 60.
- Komisja Europejska (2015), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the*

- Committee of the Regions, „Closing the Loop – An EU Action Plan for the Circular Economy”, COM/2015/0614.
- Komisja Europejska (2017), Podejście UE do zrównoważonego rozwoju. Podejście UE do wdrażania agendy ONZ na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030 wspólnie z jej państwami członkowskimi, [https://ec.europa.eu/info/strategy/international-strategies/sustainable-development-goals/eu-approach-sustainable-development\\_pl](https://ec.europa.eu/info/strategy/international-strategies/sustainable-development-goals/eu-approach-sustainable-development_pl) (dostęp: 27.03.2020).
- Komisja Europejska (2018), A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment Updated Bioeconomy Strategy, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Kubiszewski I., Costanza R., Franco C., Lawn P., Talberth J., Jackson T., Aylmer C. (2013), *Beyond GDP: Measuring and Achieving Global Genuine Progress*, „Ecological Economics”, nr 93.
- Kramer J. (2011), *Konsumpcja – ewolucja ról i znaczeń*, „Konsumpcja i Rozwój”, nr 1, Instytut Badań Rynku, Konsumpcji i Koniunktury.
- Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: biznesowe uzasadnienie przyspieszonej zmiany.*
- Lange L. (20xx), *BioValue SPIR the Fundamentals of Bioeconomy*, The Biobased Society, United Federation of Danish Workers 3F, The Technical University of Denmark, DTU in collaboration with Jane Lindedam.
- Lebreton L., Slat B., Ferrari F., Sainte-Rose B., Aitken J., Marthouse R., Hajbane S., Cunsolo S., Schwarz A., Levivier A., Noble K., Debeljak P., Maral H., Schoeneich-Argent R., Brambini R., Reisser J. (2018), *Evidence that the Great Pacific Garbage Patch Is Rapidly Accumulating Plastic*, „Nature, Scientific Reports”, vol. 8.
- Leśniak J. (2009), *Koncepcja zrównoważonej konsumpcji*, [w:] *Ekologiczne problemy zrównoważonego rozwoju*, red. D. Kielczewski, B. Dobrzańska, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, Białystok.
- Leszczyńska A. (2011), *Absorpcja innowacji ekologicznych w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- Malik K. (2004), *Efektywność zrównoważonego i trwałego rozwoju w wymiarze lokalnym i regionalnym*, Politechnika Opolska, Opole.
- Małysa-Kaleta A. (1997), *Konsumpcja w kształtowaniu jakości życia Polaków*, [w:] *Konsumpcja i rynek w warunkach zmian systemowych*, red. Z. Kędzior, E. Kieźel, PWE, Warszawa.
- McCormick K., Kautto N. (2013), *The Bioeconomy in Europe: An Overview*, „Sustainability”, vol. 5(6).
- Mapa drogowa Transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym* (2019), wprowadzona Uchwałą Rady Ministrów z dnia 19 września 2019 r., <https://www.atmoterm.pl/mapa-drogowa-transformacji-w-kierunku-goz> (dostęp: 22.12.2019).
- Martinez J. (1998), *Genomics and the World's Economy*, „Science Magazine”, vol. 281(5379).
- McCormick K., Kautto N. (2013), *The Bioeconomy in Europe: An Overview*, „Sustainability”, vol. 5(6).
- McDonough W., Braungart M. (2002), *Cradle to Cradle Remaking the Way We Make Things*, North Point Press.



- Meadows D., Meadows D., Behrens R., Randers J. (1973), „Granice wzrostu”, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Michaliszyn B., Janikowski R. (1997), *Przyczynek do zrównoważonej konsumpcji*, „Człowiek i Przyroda”, nr 6.
- OECD (2009), *The Bioeconomy to 2030. Designing a Policy Agenda*.
- Oxfam Report (2019), *Public Good or Private Wealth?*
- Pabian A. (2015), *Kształtowanie zachowań konsumenckich poprzez zrównoważoną komunikację marketingową*, „Handel Wewnętrzny”, vol. 1(354).
- Peet J. (2009), *Strong Sustainability for New Zealand: Principles and Scenario*, SANZ Report, Nakedize Ltd., New Zealand.
- Pieńkowski D. (1997), *Konsumpcja w warunkach kryzysu społeczno-przyrodniczego*, „Ekonomia i Środowisko”, nr 2(11).
- Potoćnik J. (2017) wystąpienie pt. *Economy Transition. The Role of a Circular Economy* podczas Międzynarodowego Kongresu Ekonomii Wartości OEES, Kraków.
- Racjonalniej i ekologiczniej, Zrównoważona konsumpcja i produkcja* (2010), Urząd Publikacji Unii Europejskiej, Luksemburg.
- Rhodes C.J. (2018), *Plastic Pollution and Potential Solution*, „Science Progress”, vol. 101(3).
- Ricardo D. (1913), *Zasady polityki ekonomicznej i podatkowania*, Biblioteka Wyższej Szkoły Handlowej, Nakład Gebethnera i Wolfa, Kraków.
- Rifkin J. (2001), *Koniec pracy, schylek siły roboczej na świecie i początek ery postrykowej*, Wydawnictwo Dolnośląskie, Wrocław.
- Robbins L. (1932), *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science*, MacMillan, London.
- Schirone L., Pellitteri F. (2017), *Energy Policies and Sustainable Management of Energy Sources*, Sustainability 9(12).
- Słaby T. (2006), *Konsumpcja: eseje statystyczne*, Difin, Warszawa.
- Stappen R.K. (2006), *A Sustainable World is Possible. Der Wise Consensus: Problemlösungen für das 21 Jahrhundert*, Impulsdokument Manuskript 1.2/2006.
- Steffen W., Richardson K., Rockström J., Cornell S.E., Fetzer I., Bennett E.M., Biggs R., Carpenter S.R., de Vries W., de Wit C.A., Folke C., Gerten D., Heinke J., Macel G.M., Persson L.M., Ramanathan V., Reyers B., Sörlin S. (2015), *Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet*, „Science”, vol. 347(6223).
- Szymańska D., Korolko M., Chodkowska-Miszczuk J., Lewandowska A. (2017), *Biogospodarka w Miastach*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Śleszyński J. (2011), *Obrona syntetycznych wskaźników trwałego rozwoju*, Poskrobko B. (red.), *Ekonomia zrównoważonego rozwoju w świetle kanonów nauki*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, Białystok.
- THE WHITE HOUSE OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY POLICY (2019), *SUMMARY OF THE 2019 WHITE HOUSE SUMMIT ON AMERICA'S BIOECONOMY*,
- United Nations Climate Change Secretariat (2019), *Climate Action and Support Trends*.

- UNEP United Nations Environment Programme (2014), Annual Report 2013, Nairobi, Kenya.
- Vea E.B., Romeo D., Thomsen M. (2018), *Biowaste valorisation in a future circular bioeconomy*, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, 30 April – 2 May 2018, Copenhagen, Denmark.
- Von Braun J. (2014), *Bioeconomy and Sustainable Development – Dimensions*, „Rural”, vol. 21(2).
- Wasilik K. (2014), *Trendy w zachowaniach współczesnych konsumentów – konsumpcjonizm a konsumpcja zrównoważona*, „Konsumpcja i Rozwój”, vol. 1(6).
- Weizsäcker E.U. von, Wijkman A. (2018), *Come On! Capitalism, Short-termism, Population and the Destruction of the Planet*, A Report to the Club of Rome, Springer.
- Zrównoważona produkcja w działalności przedsiębiorstw* (2011), PARP, Warszawa.
- WWF World Wild Fundation (2018), *Living Planet Report – 2018: Aiming Higher*. Groten M. and Almond R.E.A. (Eds), Gland, Switzerland.
- Żylicz T. (2001), *Trwały rozwój jako podstawa polskiej polityki ekologicznej*, „Ekonomia i Środowisko”, 1 (18).

# ŚWIAT PALIW KOPALNYCH

## 2.1. Środowiskowe i społeczne skutki wykorzystania paliw kopalnych

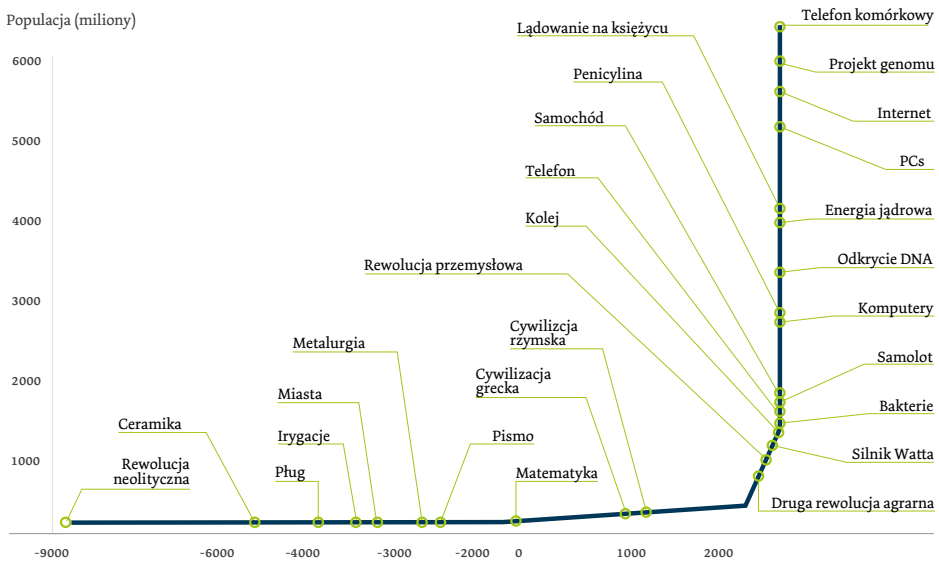
Historia postępu jest historią panowania nad energią, a energia stanowi warunek trwania cywilizacji, którą zbudował człowiek. Frank Niele (2005, s. 149) postrzega energię jako zdolność generowania zmian; to w niej zamknięty jest potencjał przemiany. Źródłem energii, dzięki której powstała ludzka cywilizacja, jest przetworzona energia słoneczna. Dieta roślinna pozwala człowiekowi czerpać przekształconą za pośrednictwem roślin energię słoneczną, w zwierzęcej natomiast pojawia się dodatkowe ogniwo. Kamieniem milowym w ewolucji człowieka było nabycie umiejętności wykorzystywania ognia, który przyczynił się do zmian w diecie. Ogień pełnił funkcję ochronną przeciwko dzikim zwierzętom, ogrzewał, dawał światło, a używanie go odróżniało człowieka od innych zwierząt. Wraz z nim pojawiło się paliwo. Początkowo było nim drewno, w którym energia magazynowana była nieco dłużej niż w źródłach żywności.

Jednak dopiero sięgnięcie po energię skumulowaną w „podziemnym lesie” (Sieferle 2001) w postaci paliw kopalnych umożliwiło ludzkości rozwój z niespotykanym wcześniej przyspieszeniem. Wykorzystanie węgla kojarzone jest przede wszystkim z rewolucją przemysłową w Anglii na przełomie XVIII i XIX w., choć surowiec ten znany był już w czasach antycznych i stosowany do wykuwania metali (Sieferle 2001, s. 78). To wynalezienie silnika pozwoliło w pełni wykorzystać energię skumulowaną w kopalinach. Rewolucja przemysłowa i skonstruowanie silnika Watta stanowiły początek historycznie krótkiego, ale jakże znaczącego dla rozwoju populacji, zmian społecznych, gospodarczych, technologicznych i środowiskowych – okresu eksploatacji i wykorzystania paliw kopalnych (rys. 2.1).

Egzystencja przed okresem rewolucji przemysłowej była trudna i niebezpieczna: większość populacji żyła na granicy minimum egzystencjalnego, oczekiwana długość życia w Europie wynosiła ok. 33,3 roku (Riley 2005),

śmiertelność okołoporodowa matek sięgała 10%, a co czwarte dziecko nie dożywało pięciu lat. Opanowanie energii, wzrost produkcji, powolna poprawa warunków bytowych i wzrost higieny przyniosły spadek zachorowalności na choroby dziesiątkujące ludność, w tym gruźlicę (Murray 2015), a oczekiwana długość życia zaczęła rosnąć. Umiejętność wytwarzania energii z paliw kopalnych oraz jej magazynowania stała się podwaliną budowanej od 250 lat cywilizacji uzależnionej od energii. Jak to bywa w przypadku niektórych uzależnień, żeby wciąż odczuwać pozytywne skutki przyjmowanych substancji, konieczne jest zwiększanie dawki, co jednocześnie rujnuje organizm. Podobnie wykorzystanie węgla, ropy naftowej i gazu cały czas wzrasta. Coraz większe jest również prognozowane zapotrzebowanie na energię, a paliwa kopalne nadal uznawane są powszechnie za strategicznie najistotniejsze.

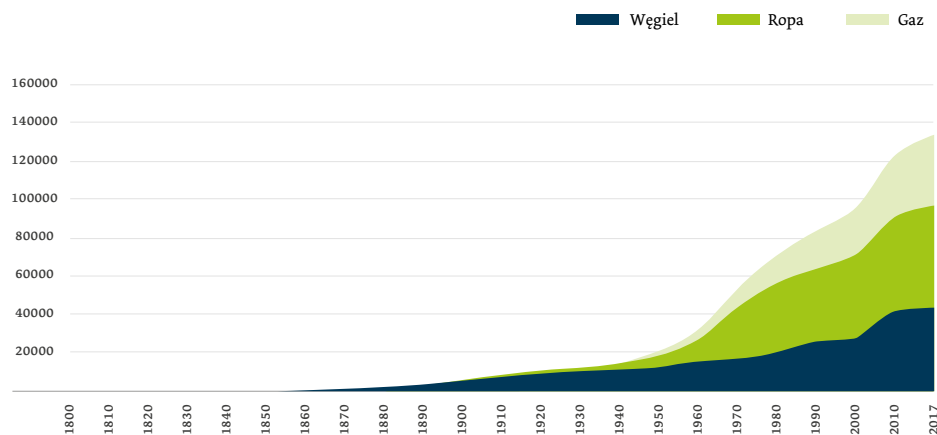
**Rysunek 2.1.** Technologia i populacja – kierunek rozwoju



Źródło: opracowanie na podstawie: Fogel 1999, s. 1–21.

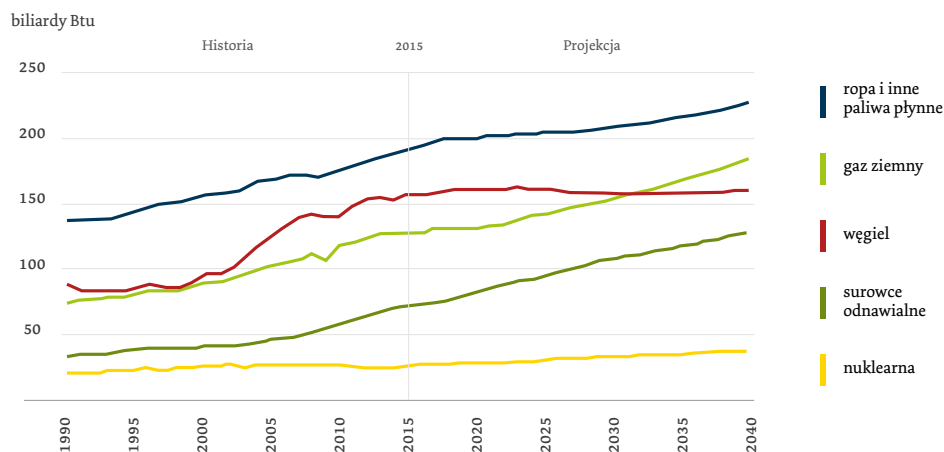
Trend produkcji energii nie zapowiada zmian w zakresie zapotrzebowania na energię i jej produkcji (rys. 2.2 i 2.3). Mimo że przewiduje się wzrost ilości energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych, w najbliższych dekadach świat wciąż będzie zależny od ropy, gazu i węgla. Zależność ta ma istotne skutki w obszarze środowiskowym, społecznym i gospodarczym, przekłada się także na stosunki międzynarodowe oraz poziom bezpieczeństwa krajów i innych instytucji.

**Rysunek 2.2.** Światowa konsumpcja energii z węgla, ropy i gazu w latach 1800–2017



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Smil 2017.

**Rysunek 2.3.** Konsumpcja energii według źródeł pochodzenia



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Energy Information Administration, 2017, International Energy Outlook.

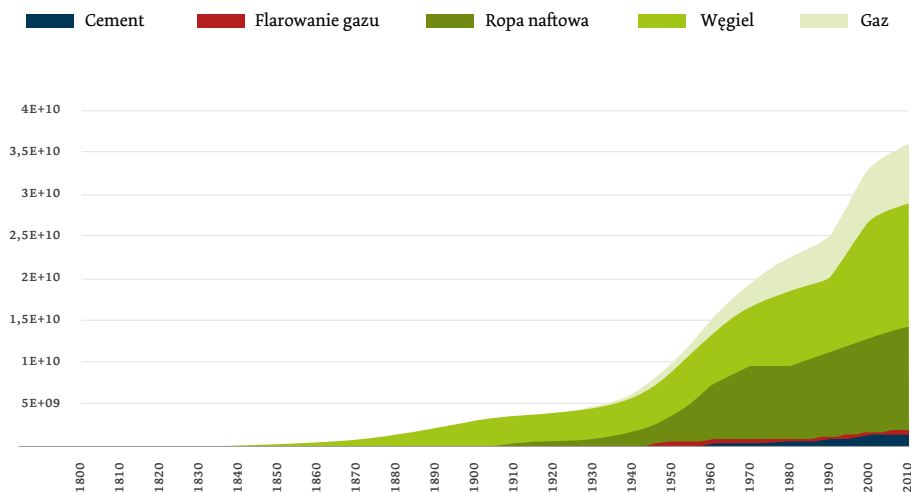
Środowiskowe skutki energetyki opartej na paliwach kopalnych są jednym z największych problemów, z jakimi zmagają się obecnie ludzkość, doświadczając między innymi ekstremalnych stanów pogodowych. Przykładowo czerwiec 2019 r. był najgorętszym czerwcem od początku historii pomiarów temperatur – w Europie średnie temperatury były o 2°C wyższe od normalnych dla tego miesiąca (<https://climate.copernicus.eu/record-breaking-temperatures-june>,

dostęp: 12.11.2019). Na początku lipca 2019 r. meksykańskie miasto Guadalupe zasypała blisko dwumetrowa warstwa gradu. W 2018 r. Kalifornia ucierpiała z powodu niespotykanych pożarów wywołanych długotrwałą suszą i upałami, podczas których zginęło 85 osób, zaś Japonię w lipcu 2019 r. nawiedziły powodzie i lawiny błotne, które pozbawiły życia 122 osoby. Na przełomie 2019 i 2020 w ogarniętej pożarami Australii spłonęło 10 milionów hektarów, zginęło co najmniej 30 osób i miliony zwierząt. Ekstremalne pogodowe stają się codziennością, co jest pochodną rosnącej ilości gazów cieplarnianych w atmosferze oraz zmiany klimatu.

Zużycie paliw kopalnych tylko do produkcji energii elektrycznej oraz ogrzewania generuje ponad 40% całkowitej emisji CO<sub>2</sub> (Olson i Lenzmann 2016). Wpływ na środowisko zauważalny jest na wszystkich poziomach łańcucha wartości eksploatacji kopalin i wywierany jest na wszystkie elementy ekosystemu, prowadząc – poza zmianami klimatu – do zanieczyszczeń powietrza, wody, gleby, zachwiania bioróżnorodności oraz problemów zdrowotnych ludzi.

Największa ilość wyemitowanego przez człowieka CO<sub>2</sub> w atmosferze pochodzi ze spalania węgla (rys. 2.4).

**Rysunek 2.4.** Emisja CO<sub>2</sub> według rodzajów spalanej paliwa w latach 1800–2017



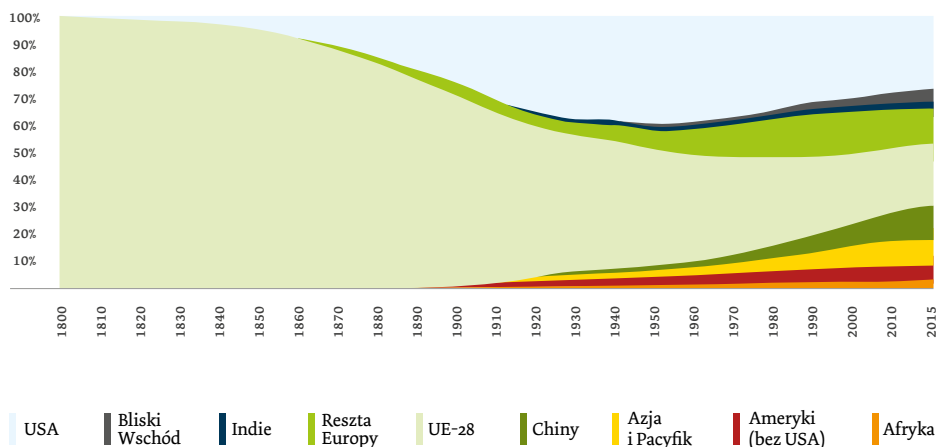
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Global Carbon Project (GCP) and Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget>, dostęp: [https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/meth\\_reg.html](https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/meth_reg.html), dostęp: 15.12.2019).

Należy uświadomić sobie, że pomimo iż w 2017 r. największymi emitentami dwutlenku węgla były Chiny, USA, Indie, Rosja i Japonia, to jednak nie

te kraje przyczyniły się do wprowadzenia w atmosferę przeważającej ilości CO<sub>2</sub> (rys. 2.5).

Europa, będąca kolebką rewolucji przemysłowej, materialnego dobrobytu, zasad gospodarowania oraz współczesnego, słusznego i koniecznego modelu zrównoważonego rozwoju, w dużej mierze ponosi odpowiedzialność za tak wysoki poziom CO<sub>2</sub> w atmosferze.

**Rysunek 2.5.** Udział w kumulowanej emisji regionów świata w latach 1800–2017



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych: Le Quéré et al. (2018). Global Carbon Project; Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC), <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/18/data.htm> (dostęp: 14.03.2019).

Obok dwutlenku węgla do produktów spalania należy toksyczny tlenek węgla, lotne związki organiczne (LZO), szczególnie węglowodory aromatyczne: toluen, ksylen i benzen, które tworzą się głównie podczas spalania benzyny i oleju napędowego w samochodach. Tlenek siarki (SO<sub>2</sub>), emitowany przede wszystkim podczas spalania węgla, przyczynia się do powstawania kwaśnych deszczów i szkodliwych cząsteczek pyłów zawieszonych (PM), prowadzi do zaostrenia problemów oddechowych, astmy, problemów ze śluzówką układu oddechowego i zapaleń płuc (Epstain i in. 2011). Tlenek siarki stanowi istotną składową smogu typu londyńskiego, który swą nazwę zawdzięcza typowym dla Londynu mgłom. Kojarzony jest przede wszystkim w związku z dramatycznymi wydarzeniami, które miały miejsce w Londynie w 1952 r., gdzie utrzymujący się przez kilka dni wysoki poziom smogu doprowadził do śmierci ok. 12 tys. osób (Bell i in. 2004) oraz hospitalizacji wielu dziesiątków tysięcy mieszkańców.

Tlenki azotu, będące pochodną spalania wszystkich paliw kopalnych, których źródłem emisji w największym stopniu jest transport, powodują z kolei kwaśne opady, przyczyniają się też do powstawania smogu typu Los Angeles, który oddziałuje drażniąco na drogi oddechowe oraz błony śluzowe. Wydarzenia z Londynu z 1952 r. nie były unikalnym zjawiskiem. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) szacuje, że 4,2 mln zgonów rocznie wywołanych jest zanieczyszczeniem atmosfery, co oznacza, że smog jest przyczyną 7,6% wszystkich zgonów (dane za 2016 r., [https://www.who.int/gho/phe/outdoor\\_air\\_pollution/burden/en](https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en), dostęp: 19.03.2019), a 91% populacji ludzkiej żyje na obszarach, gdzie wytyczne WHO odnośnie do standardów czystości powietrza są przekroczone (<https://www.who.int/airpollution/en>, dostęp: 19.03.2019).

Skażeniu w wyniku eksploatacji paliw kopalnych ulega również woda. Opady kwaśnych deszczów, powstających przez łączenie się tlenków siarki i azotu z cząsteczkami wody, wpływają na wyjaławianie gleby oraz zbiorników wodnych. Kwaśne opady zaburzają funkcjonowanie roślin, uszkadzając liście, co powoduje zakłócenie fotosyntezy i ich obumieranie. Narastającym problemem jest zakwaszanie oceanów stanowiących główny regulator poziomu CO<sub>2</sub>, w wypadku którego wraz ze wzrostem stężenia tego związku tempo i możliwości jego absorpcji spadają. Proces ten prowadzi do obniżania poziomu pH wód, co zagraża organizmom wodnym, od poziomu planktonu do raf koralowych, będących, odpowiednio, podstawą łańcucha pokarmowego i jednym z najważniejszych ekosystemów wodnych (Doney i in. 2009).

Rafy koralowe, stanowiące jeden z najważniejszych ekosystemów morskich, w szczególnym stopniu ulegają niszczeniu z powodu zakwaszenia. Szkielety koralowców składają się z węglanu wapnia. Rosną, łącząc wapń z jonami węglanowymi pozyskanymi z wody morskiej. Koralowce zużywają energię do podniesienia pH wody, co pozwala przekształcić jony wodorowęglanowe w węglanowe, z których budują rafę. Zakwaszony ocean oznacza niższe pH i mniejszą obfitość jonów węglanowych potrzebnych do wzrostu rafy (Cohen i Holcomb 2009). Utrata raf koralowych jest nie tylko problemem środowiskowym, 500 mln ludzi zawdzięcza swój byt rafom koralowym, które zaopatrują ich w żywność oraz możliwość pozyskiwania dochodów (NOAA, <https://coast.noaa.gov/states/fast-facts/coral-reefs.html>, dostęp: 19.03.2019).

Istotnym problemem środowiskowym jest flarowanie (spalanie) metanu podczas wydobywania ropy naftowej. Jeżeli chodzi o koszty księgowo, jest ono tańsze niż budowa gazociągu służącego sprzedaży gazu, zmagazynowanie go w cysternach lub wprowadzenie z powrotem pod ziemię. Według danych Banku Światowego tylko w 2011 r. spaleniem poddano 140 mld metrów sześciennych gazu, co stanowiło odpowiednik 490 TWh i niemal



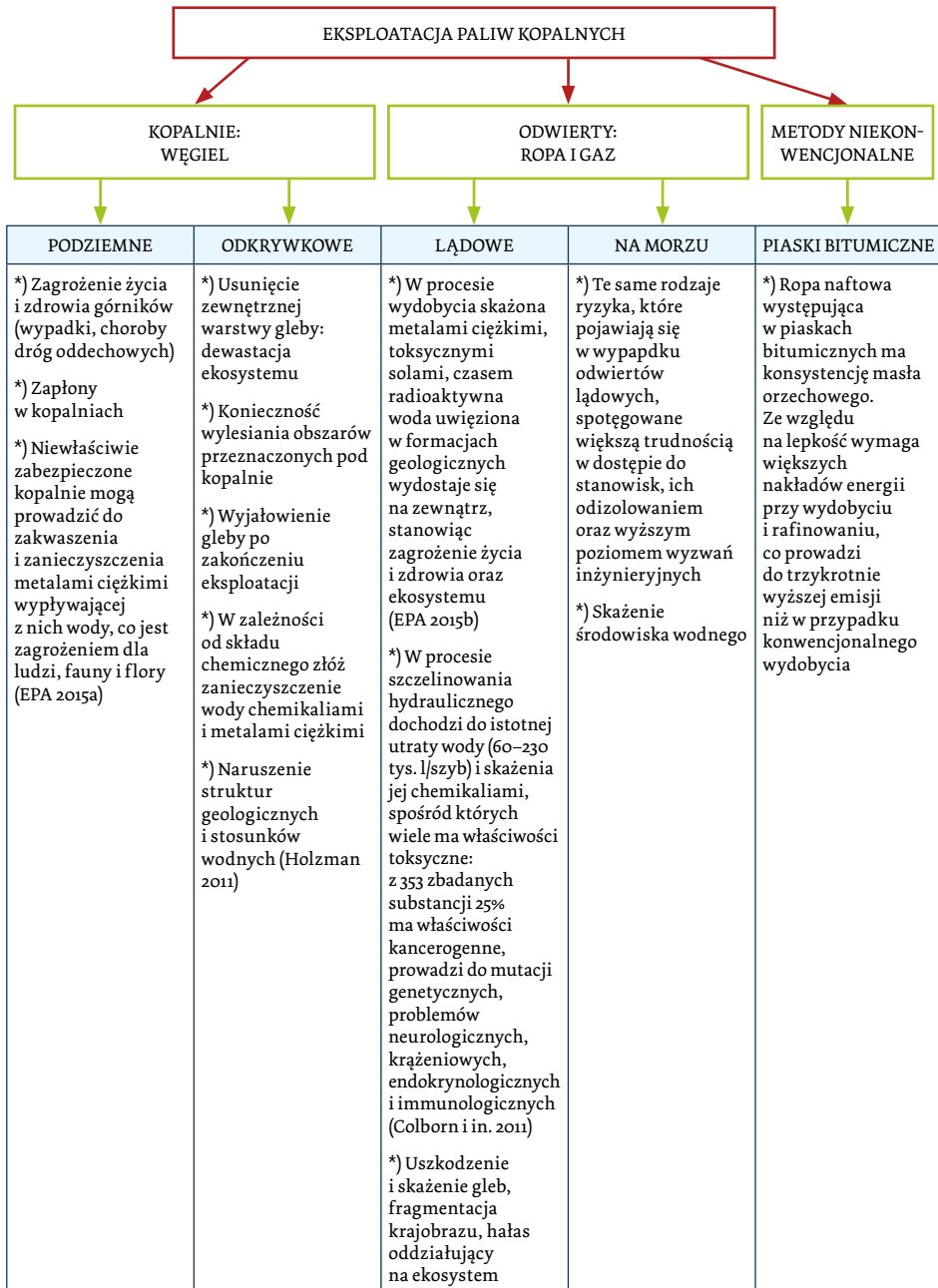
pokryłoby roczne zapotrzebowanie energetyczne Niemiec (Olson i Lenzman 2016). Spalanie metanu, który jest gazem cieplarnianym działającym silniej niż dwutlenek węgla, w mniejszym stopniu zwiększa efekt cieplarniany niż uwalnianie metanu do atmosfery. Cząsteczka metanu w przedziale 100-letnim zatrzymuje 34-krotnie więcej ciepła emitowanego przez Słońce niż dwutlenek węgla, a w przedziale 20-letnim – aż 86 razy więcej (Myhre i in. 2013). Równie problematyczne dla środowiska są wycieki gazów – metanu i LZO – z beczek, rurociągów czy tankowców. Szacuje się, że 1–9% gazu produkowanego tylko w USA uleciało do atmosfery, w 2012 r. w USA produkcja gazu wyniosła 4620 mln metrów sześciennych, a wycieki i wypuszczanie gazu uwolniły ekwiwalent 7000–60 000 mln metrów sześciennych metanu lub 160–1400 mln metrów sześciennych  $\text{CO}_2$  (Olson i Lenzmann 2016). Różne metody eksploatacji złóż powodują odmienne rodzaje szkód i kosztów zewnętrznych (rys. 2.6).

Kolejna grupa zagrożeń ujawnia się w związku z transportem paliw kopalnych. Węgiel w większości transportowany jest do elektrowni transportem kolejowym, samochodowym lub wodnym. Napęd lokomotyw, silników samochodowych i barek generuje sadze oraz tlenki azotu. Dodatkowo efekt zanieczyszczenia środowiska spotęgowany jest przez pył węglowy unoszący się wzdłuż traktów transportowych (Epstain i in. 2011). Jeżeli chodzi o transport ropy i gazu, do problemów wynikających z łatwopalności tych surowców dochodzą wypadki związane z wyciekami z rurociągów, transportem oraz emisją  $\text{CO}_2$  środków transportu. Katastrofy związane z wyciekami ropy naftowej są od dawna jednym z głównych problemów morskich ekosystemów, choć obok aspektu środowiskowego warto też przywołać gospodarczy, który wiąże się z utratą olbrzymiej wartości ekonomicznej. W wyniku wypadków z udziałem statków lub platform wiertniczych woda oceaniczna zostaje skażona ropą, co powoduje w środowisku szkody na dziesięciolecia, w tym śmierć ryb, ssaków morskich i ptaków. Wycieki ropy niszczą też plaże i siedliska dzikiej przyrody na lądzie, co wpływa na nadbrzeżne ekosystemy oraz osadnictwo i egzystencję ludzi. Za pocieszający można uznać fakt, że ilość wycieków, zarówno tych niewielkich, do których media nie przywiązują wagi, jak i poważnych wypadków, systematycznie maleje, przynajmniej w odniesieniu do wycieków z tankowców<sup>4</sup> (rys. 2.7).

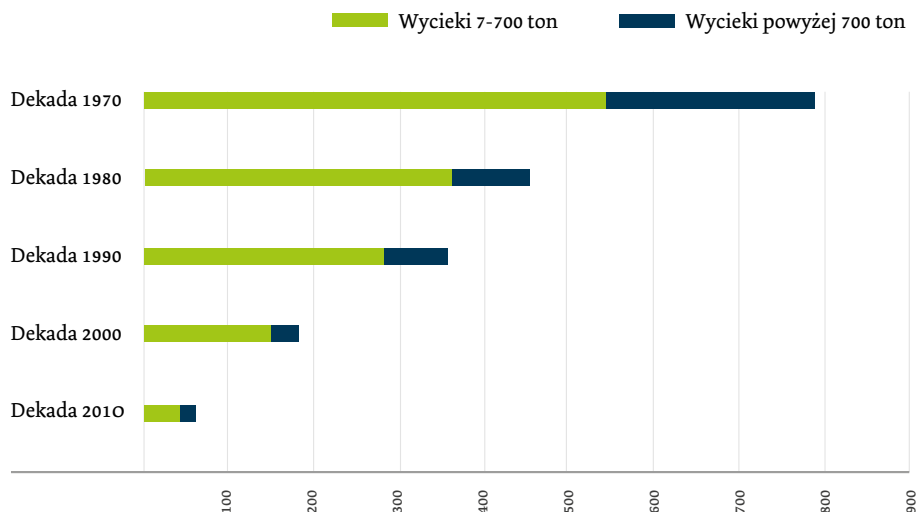
---

<sup>4</sup> W 58% przypadków przyczyną wycieków na pełnym morzu były alizje (zderzenie tankowca w ruchu z zakotwiczonym), kolizje oraz utknięcie tankowca na mieliźnie. Na wodach śródlądowych te przyczyny odpowiadają za 99% wycieków (<https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics>, dostęp: 10.04.2019).

**Rysunek 2.6.** Problemy i negatywne zjawiska powstające podczas wydobywania paliw kopalnych (węgiel, ropa i gaz)



Źródło: opracowanie własne.

**Rysunek 2.7.** Rozmiary wycieków z tankowców w latach 1970–2018

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Oil Tanker...* 2019.

### Największe wycieki ropy naftowej:

#### 1. Wyciek ropy podczas wojny w Zatoce Perskiej, 1991 r.

Największy wyciek ropy na świecie nie powstał w wyniku wypadku, ale był skutkiem wojny. Gdy siły irackie wycofały się z Kuwejtu, otworzyły rurociągi i zawory szybów naftowych, a następnie podpaliły wyciek, tworząc tarczę z ognia uniemożliwiającą siłom USA lądowanie w tym rejonie. Pożar rozpoczął się w styczniu 1991 r. i trwał aż do kwietnia tego roku. Uważa się, że w rezultacie ok. 240 mln galonów, czyli 910 mln litrów ropy naftowej przedostało się do Zatoki Perskiej, zabijając setki tysięcy ryb i ssaków morskich.

#### 2. Deepwater Horizon, 2010 r.

Wyciek ropy i substancji ropopochodnych w Zatoce Meksykańskiej na stanowiskach należących do koncernu British Petrol miał miejsce w kwietniu 2010 r. Doszło wtedy do eksplozji platformy wiertniczej BP Deepwater Horizon, w Macondo Prospect. W wybuchu zginęło 11 osób, a wyciek ropy trwał ponad 3 miesiące. Szacuje się, że każdego dnia do Zatoki Meksykańskiej wyływało 53 tys. baryłek, przy czym jedna baryłka to ok. 159 litrów. Wypadek spowodował znaczne szkody w środowisku morskim. Według Centrum Różnorodności Biologicznej wyciek ropy zabił między innymi ponad 82 tys. ptaków, 25,9 tys. ssaków morskich, 6 tys. żółwi morskich i dziesiątki tysięcy ryb.

#### 3. Szyb naftowy Ixtoc 1, 1979 r.

W czerwcu 1979 r. w zatoce Campeche w Zatoce Meksykańskiej zawałił się szyb naftowy zarządzany przez meksykańską firmę naftową Pemex. Przez 10 miesięcy od 10 tys. do 30 tys. baryłek ropy naftowej wyływało codziennie do wód Zatoki.

#### **4. Atlantic Empress, 1979 r.**

W lipcu 1979 r. dwa tankowce zderzyły się ze sobą na Morzu Karaibskim u wybrzeży Tobago, podczas burzy tropikalnej. Po zderzeniu ładunek tankowców zaczął wyciekać, a następnie płonąć, w efekcie czego doszło do eksplozji na pokładzie Atlantic Empress, w wyniku której zginęło 26 członków załogi. Do morza przedostało się ok. 88,3 mln litrów ropy naftowej.

#### **5. Platforma Nowruz Field, 1983 r.**

Podczas wojny irańsko-irackiej w 1983 r. tankowiec uderzył w platformę Nowruz Field znajdującą się w Zatoce Perskiej, co doprowadziło do poważnego wycieku ropy, szacowanego na 1,5 tys. baryłek dziennie w okresie 7 miesięcy.

Zagrożenia środowiskowe i społeczne wynikające z eksploatacji paliw kopalnych nie wyczerpują listy problemów, które pojawiły się wraz z odkryciem zastosowania paliw kopalnych. Ich wartość przyczyniła się pozytywnie do wzrostu gospodarczego, ale narzuciła specyficzne relacje międzynarodowe i instytucjonalne. Ropa naftowa stała się źródłem bogactwa krajów i podmiotów gospodarczych oraz podstawą hierarchii, w której walka o dominację wciąż ma miejsce.

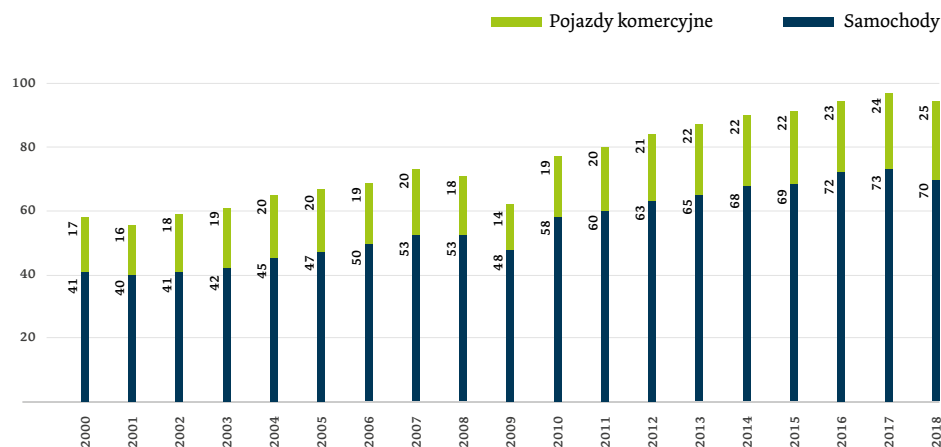
## **2.2. Polityczne i gospodarcze skutki wykorzystywania paliw kopalnych**

Dynamiczny rozwój ekonomiczny, który miał miejsce w XX w. w dużej części współczesnych gospodarek, został oparty w znacznym stopniu na wydobyciu i wykorzystaniu surowców mineralnych, w tym energetycznych. Stały się one podstawowym źródłem pozyskiwania ciepła, a następnie energii elektrycznej. Surowce energetyczne, a w szczególności węgiel kamienny, stanowiły siłę napędową zapoczątkowanej w Anglii i Szkocji rewolucji przemysłowej, która nie tylko zmieniła ekonomiczne oblicze świata, ale także podejście człowieka do przyrody i możliwości wykorzystania zasobów naturalnych. Poza wieloma pozytywnymi zmianami wywołała także liczne, nieznane do tej pory problemy. Rewolucja przemysłowa zakończyła okres względnie bezinwazyjnej egzystencji człowieka w środowisku naturalnym, zastępując harmonię potrzebą wykorzystania darów natury w celu maksymalizacji korzyści na niespotykaną dotychczas skalę.

Procesy te nasiliły się na przełomie XIX i XX w., gdy przemysł motoryzacyjny zaczął rozwijać się, stosując nowy surowiec energetyczny – ropę naftową. Mimo upływu wielu dekad i dynamicznego rozwoju technologicznego,

który umożliwił poszukiwania alternatyw dla ropy naftowej, nadal dominującym w skali światowej typem pojazdów mechanicznych są pojazdy napędzane silnikiem spalinowym (rys. 2.8).

**Rysunek 2.8.** Światowa produkcja samochodów w latach 2000–2018 w mln

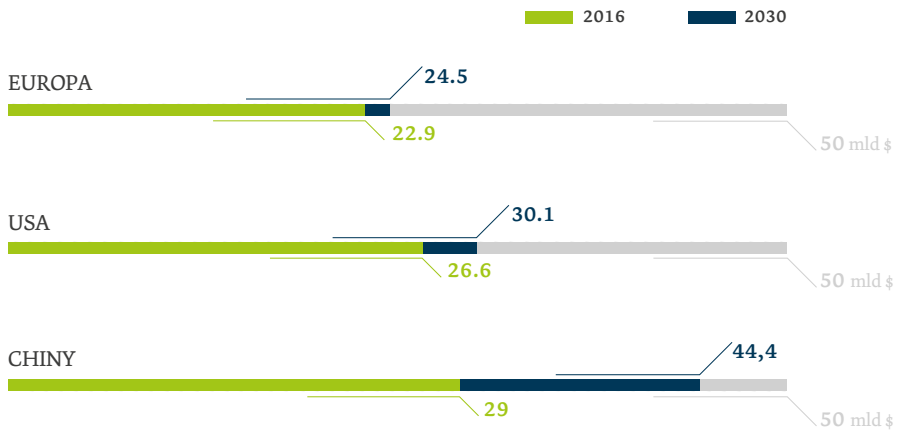


Źródło: opracowanie własne na podstawie: [www.statista](http://www.statista) (dostęp: 10.12.2019).

Wraz ze wzrostem produkcji pojazdów rośnie także wartość rynku samochodowego, a regionem o szczególnym znaczeniu dla tego sektora stają się Chiny.

Wartość rynku motoryzacyjnego w najbliższej dekadzie będzie raczej coraz większa, co pomimo wzrostu udziału samochodów elektrycznych będzie stanowić istotny bodziec ekonomiczny do wydobywania i przetwarzania ropy naftowej (rys. 2.9). Sektor motoryzacyjny pozostaje kluczowy dla rozwoju gospodarczego. Szacuje się, że budowa 60 mln pojazdów angażuje 9 mln pracowników, na każde stanowisko pracy bezpośrednio przy produkcji samochodu przypada 5 pośrednio związanych, przykładowo w przemyśle stalowym, żelaznym, tekstylnym, informatycznym czy tworzyw sztucznych (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, [www.oica.net](http://www.oica.net), dostęp: 10.12.2019). Przemysł motoryzacyjny jednak tylko w niewielkim stopniu determinuje ekonomiczne znaczenie surowców kopalnych. Ich eksploatacja w dużej mierze przesądza o pozycji gospodarczej i politycznej danego kraju w globalnym porządku.

**Rysunek 2.9.** Wartość rynku samochodów pasażerskich według regionów – rok 2016 i prognoza na rok 2030



Źródło: opracowanie własne na podstawie: [www.statista](http://www.statista) (dostęp: 10.12.2019).

Z danych zamieszczonych w tabeli 2.1 wynika, że udokumentowane zasoby ropy naftowej wynoszą w skali globalnej niemal 1700 mld baryłek. Szacunki wskazują, że przy rosnącym popycie na ropę jej zasobów wystarczy średnio na 50 lat, przy czym wielkość zasobów w różnych regionach i intensywność eksploatacji jest wysoce zróżnicowana. Z kolei udokumentowane złoża gazu ziemnego zawierają niemal 200 mld m<sup>3</sup> i zlokalizowane są przede wszystkim na obszarze Bliskiego Wschodu i w krajach WNP. Zgodnie z przedstawianymi przez kraje producentów szacunkami – utrzymanie obecnego poziomu wydobycia pozwoli na korzystanie z tego surowca przez kolejnych 50 lat, przy założeniu, że nie zostaną odkryte kolejne jego zasoby. W odróżnieniu od ropy naftowej i gazu ziemnego łączne światowe zasoby węgla brunatnego i kamiennego mogą wystarczyć na znacznie dłuższy okres i wynoszą około miliarda ton. Zlokalizowane są przede wszystkim w Azji i Ameryce Północnej. Przy obecnym poziomie wykorzystania eksploatacja możliwa jest teoretycznie przez kolejnych 130 lat. Jednak negatywne efekty zewnętrzne generowane przez paliwa kopalne zmuszają do poszukiwania bezpiecznych dla środowiska alternatyw, co wiąże się z koniecznością zmiany postaw społecznych, gdyż same argumenty ekonomiczne wydają się nie wystarczać.

Warto zaznaczyć, że zużycie (spalenie) pozostałych na Ziemi paliw kopalnych wiązałoby się z przyspieszeniem katastrofy na skalę globalną: lód arktyczny uległby niemal całkowitemu stopieniu, podnosząc poziom morza o blisko 70 m, co doprowadziłoby do zatopienia kluczowych miast świata (Winkelmann i in. 2015).

Tabela 2.1. Zasoby ropy naftowej

Rejon	Zasoby														
	Ropa naftowa mld baryłek			Gaz ziemny mld m <sup>3</sup>				Węgiel mln ton 2017 r.							
	1997	2007	2017	Udział w wydobyciu światowym	Lata do wyczerpania zasobów	1997	2007	2017	Udział w wydobyciu światowym	Lata do wyczerpania zasobów	Węgiel kamienny	Węgiel brunatny	Ogółem	Udział w wydobyciu światowym	Lata do wyczerpania zasobów
Ameryka Północna	127,1	221,5	226,1	13,3%	30,8	8,0	8,4	10,8	5,6%	11,4	226306	32403	258709	25,0%	335
Ameryka Środkowa i Południowa	93,4	125,3	330,1	19,5%	12,5,9	6,6	7,8	8,2	4,2%	45,9	8943	5073	14016	1,4%	141
Europa	21,3	15,1	13,4	0,8%	10,4	4,9	5,0	3,0	1,5%	12,2	24220	76185	100405	9,7%	159
WNP	121,4	145,3	144,9	8,5%	27,8	40,3	41,2	59,2	30,6%	72,6	130162	93066	223228	21,6%	397
Bliski Wschód	<b>683,2</b>	<b>754,9</b>	<b>807,7</b>	<b>47,6%</b>	70,0	<b>48,6</b>	<b>73,6</b>	<b>79,1</b>	<b>40,9%</b>	119,9	14354	66	14420	1,4%	53
Afryka	75,3	119,7	126,5	7,5%	42,9	10,2	14,0	13,8	7,1%	61,4	<b>314325</b>	<b>109909</b>	<b>424234</b>	<b>41,0%</b>	79
Azja	40,3	45,3	48,0	2,8%	16,7	9,4	13,6	19,3	10,0%	31,8	226306	32403	258709	25,0%	335
Świat	1162,1	1427,1	1696,6	100%	50,2	128,1	163,5	193,5	100%	52,6	718310	316702	1035012	100%	134

Źródło: BP Statistical Review... 2018.

Efekty zewnętrzne powstają, gdy działalność jednego podmiotu powoduje stratę dobrobytu drugiego podmiotu, która nie jest zrekompensowana. Efekty zewnętrzne stanowią zmonetyzowaną wartość strat poniesionych w wyniku działalności. Produkcja energii generuje koszty zewnętrzne w całym łańcuchu technologicznym: eksploatacja i transport surowców, przetworzenie, budowa oraz zamknięcie elektrowni, emisja zanieczyszczeń, które oddziałują na zdrowie populacji, szkody w infrastrukturze, materiałach, plonach rolnych i zasobach biologicznych, stan ekosystemu, klimat oraz jakość życia. Międzynarodowa Agencja Energii Odnawialnej (IRENA) szacuje, że koszty zewnętrzne generowane podczas pozyskiwania energii z surowców nieodnawialnych, związane z zanieczyszczeniem powietrza i zmianą klimatu mieszczą się w przedziale 2,2–5,9 bln USD rocznie. Dla porównania globalne koszty dostarczenia energii to ok. 5 bln USD. Według szacunków Komisji Europejskiej koszty zewnętrzne wynikające z zanieczyszczenia powietrza tylko w 2010 r. wyniosły pomiędzy 330 a 940 mld USD. (IRENA 2016).

Pomimo globalnej świadomości potrzeby dywersyfikacji źródeł energii, nieodnawialne surowce energetyczne są nadal wykorzystywane jako oręż w realizacji celów politycznych i ekonomicznych. Dotyczy to w szczególności zasobów ropy naftowej, która od początku XX w. aż po dziś jest najważniejszym surowcem o charakterze strategicznym. Dostęp do jej złóż oraz możliwość oddziaływania na kształtowanie się cen na rynku paliw decyduje w dużym stopniu o najważniejszych aspektach polityki i gospodarki światowej oraz o możliwościach wpływania na kierunek jej rozwoju. Ropa naftowa umożliwiła powstawanie imperiów finansowych, które nie będąc podmiotami państwowymi, ze względu na swoje rozmiary ekonomiczne stanowią byty, których siła wywiera wpływ na globalną sytuację środowiskową, polityczną, społeczną i gospodarczą. Wśród dziesięciu największych korporacji świata w 2018 r. aż 8 stanowiły spółki zaangażowane w przemysł energetyczny, a 2 – motoryzacyjny: State Grid z Chin (przychody na poziomie 348,903 mld USD), Sinopec Group (326,953 mld USD), China National Petroleum (326,008 mld USD), Royal Dutch Shell (311,870 mld USD), Toyota Motor (265,172 mld USD), Volkswagen (260,028 mld USD), BP (244,582 mld USD) i Exxon Mobil z USA (244,363 mld USD) (Fortune.com, *Fortune Global 500 List 2018: See Who Made It*, <https://fortune.com/global500/2018/search>, dostęp: 15.05.2019). Dla porównania w 2017 r. nominalne PKB Irlandii wyniosło 333,731 mld USD, Finlandii – 251,885 mld USD, Nowej Zelandii – 205,853 mld USD, a Kuwejtu – 120,126 mld USD (World Bank, data. [worldbank.org](http://worldbank.org), dostęp: 15.05.2019). Gospodarki tych znaczących państw były więc mniejsze niż dochody spółek energetycznych i naftowych, co może niepokoić w kontekście realizowania interesów obywateli świata.

Dynamicznie zmieniający się poziom cen i dostępność zasobów ropy ma decydujący wpływ na sytuację gospodarczą współczesnych państw i ich wzajemne relacje. Zostały one po raz pierwszy zauważone przy okazji szoków naftowych

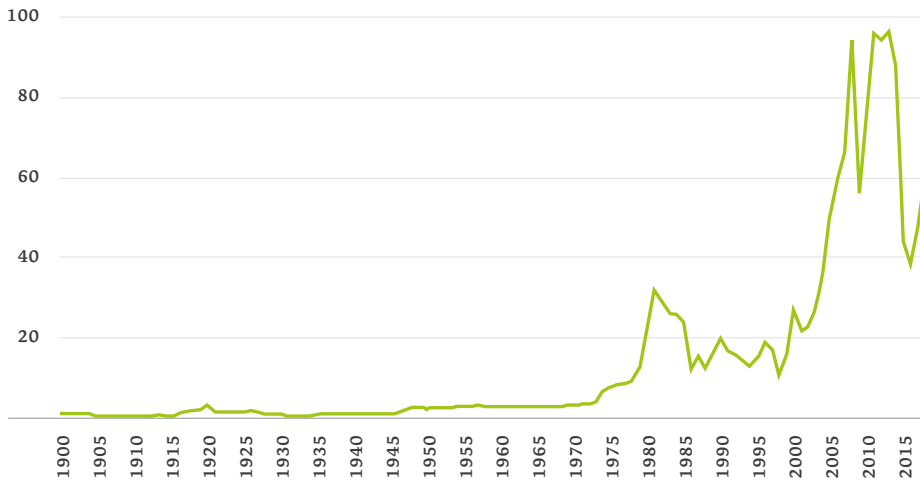


w latach 70. i 80. XX w., gdy okazało się, że ceny ropy naftowej stanowią istotny czynnik warunkujący aktywność gospodarczą. Hipoteza ta znalazła potwierdzenie w badaniach J.D. Hamiltona (2011), który wykazał ujemną korelację pomiędzy cenami ropy naftowej a aktywnością gospodarczą. Znaczące spadki cen ropy często przyczyniały się do kryzysów. Ceny ropy naftowej oddziałują na zjawiska makroekonomiczne za pośrednictwem kanału podażowego i inflacyjnego, wywierając bezpośredni wpływ na produkcję oraz odpowiednio oczekiwania inflacyjne i inflację bazową. Jak pisze A. Geise (2025), dokonując przeglądu literatury: „Po stronie podażowej spadki kosztów produkcji spowodowane są niższymi cenami surowca (...) niższe koszty produkcji całej gamy dóbr energochłonnych, poprzez obniżenie ich cen i odciążenie konsumenta, mogą skutkować pośrednio obniżeniem inflacji. Oczywiście, niższe koszty produkcji przyczyniają się również do wzrostu inwestycji na poziomie przedsiębiorstwa oraz kraju, jednakże (...) niepewność związana z wahaniami cen surowca może powodować także negatywne skutki dla wielkości inwestycji. Wzrost konsumpcji natomiast wywołany jest poprzez wzrost realnych dochodów konsumentów, co jest skutkiem spadku cen ropy i odciążenia gospodarstwa domowego poprzez obniżenie rachunków za energię. (...) Spadki cen surowca poprzez odpowiednią reakcję banku centralnego (rozluźnienie monetarne) mogą pobudzić gospodarczą aktywność kraju (...)” (Geise 2015, s. 48–59). Wnioski z badań nad wpływem cen ropy naftowej na produkcję i inflację wybranych krajów Unii Europejskiej również potwierdziły istnienie zależności pomiędzy cenami ropy a produkcją i inflacją w większości badanych krajów (Geise 2015).

Przemysłowe wydobycie ropy naftowej w Stanach Zjednoczonych rozpoczęło się w połowie XIX w. W pierwszych latach rozwoju przemysłu naftowego w Pensylwanii ropa była surowcem bardzo kosztownym. Jednak szybki wzrost zapotrzebowania doprowadził do wzrostu jej produkcji, nie tylko w Stanach Zjednoczonych, ale także w Rosji i na Bliskim Wschodzie. Dodatkowo liczne udoskonalenia w stosowanych technologiach wydobywczych wraz z nowymi metodami przetwarzania przyczynił się do znaczącego spadku cen (Hassan 2013), co przedstawiono na rysunku (rys. 2.10).

Okres poprzedzający wybuch II wojny światowej, choć charakteryzował się poważnymi perturbacjami w gospodarce światowej, nie przyniósł poważnych wahań na rynku ropy naftowej. Większe problemy pojawiły się na krótko po zakończeniu I wojny światowej i dotyczyły wzrostu cen, który wynikał z niewystarczającej produkcji tego surowca w stosunku do rosnącego zapotrzebowania. Sytuacja ta wynikała z ograniczonego wydobycia w ogarniętej rewolucją Rosji i gwałtownego rozwoju sektora motoryzacyjnego w Stanach Zjednoczonych, którego charakterystycznym przejawem była produkcja samochodów Ford w Detroit, umożliwiającą powszechną dostępność tego dobra dla konsumentów.

**Rysunek 2.10.** Średnioroczna cena baryłki ropy naftowej w Stanach Zjednoczonych w latach 1900–2018 (w USD)



Źródło: U.S. Energy Information Administration (EIA), [www.eia.gov/petroleum](http://www.eia.gov/petroleum) (dostęp: 7.09.2019).

Wysokie ceny, napędzające olbrzymie zyski, skłoniły amerykańskich producentów do szybkiego wyeliminowania niedoboru ropy, jaki miał miejsce w 1920 r. Rosnące wydobycie, kolejne odkrycia niezwykle bogatych złóż ropy naftowej w Teksasie, nowe technologie wydobycia i przetwórstwa, a także wielki kryzys gospodarczy z lat 1929–1933 przyniosły gwałtowny spadek cen ropy naftowej na rynkach światowych (Hamilton 2011). W pierwszej połowie XX w. miała miejsce bliższa współpraca pomiędzy producentami ropy naftowej a rządami państw narodowych. Jej konieczność wynikała z zaangażowania państw w dwie wojny światowe. Działania zbrojne wielokrotnie zwiększyły zapotrzebowanie na ropę, prowadząc do gwałtownego rozwoju sektora paliwowego. Zakończenie II wojny światowej nie spowodowało zmniejszenia produkcji, gdyż, z jednej strony, potrzeby militarne nie zmniejszyły się, z uwagi na podział świata „żelazną kurtyną”. Z drugiej strony zapotrzebowanie na paliwa rosło wprost proporcjonalnie do dynamicznego rozwoju ekonomiczno-społecznego świata zachodniego, gdzie rozbudzone potrzeby cywilne okazały się nawet mocniejsze od zapotrzebowania na surowce energetyczne w ramach prowadzonych zbrojeń (Armentano 1981).

Dynamiczny rozwój transportu drogowego, morskiego, a przede wszystkim lotniczego prowadził do gwałtownego wzrostu popytu na produkty przetwórstwa ropy naftowej. Nie mniej istotna była zmiana zapotrzebowania na ropę naftową w przemyśle energetycznym. Wynikała ona bezpośrednio z korzyści

zastosowania ropy jako źródła ciepła. Jej duża dostępność i wysoka wartość energetyczna doprowadziła w drugiej połowie XX w. do częściowego zastąpienia węgla w procesach przemysłowych. W rezultacie gwałtownego wzrostu popytu na ten surowiec rynek ropy naftowej szybko osiągnął status rynku globalnego. Ważnym elementem procesu globalizacji tego rynku stało się przemysłowe zagospodarowanie nowych zasobów w państwach bliskowschodnich, które otworzyło nowe możliwości przed międzynarodowymi koncernami paliwowymi. Większość państw nie była w stanie osiągnąć samowystarczalności i bezpieczeństwa energetycznego, co prowadziło do zwiększenia importu ropy naftowej i większego uzależnienia państw zachodniej demokracji od dostaw omawianego surowca. Sprzyjały temu jego niskie ceny. Można więc stwierdzić, że bezprecedensowy wzrost gospodarczy świata zachodniego związany był w dużym stopniu z dostępem do niemal nieograniczonych zasobów surowców energetycznych, w tym przede wszystkim ropy naftowej.

Niedługo po II wojnie światowej wielkość wydobycia i w rezultacie ceny ropy były ustalane przez koncerny naftowe, a decydujący wpływ na światowy rynek miał kartel największych amerykańskich i europejskich spółek naftowych kontrolujących zdecydowaną większość światowego wydobycia. Pomimo nieuniknionego końca epoki kolonialnej eksploatacja ekonomiczna państw Bliskiego Wschodu i Afryki trwała nadal, umożliwiając potęgom gospodarczym pozyskanie strategicznych źródeł energetycznych za niewielką część ich realnej wartości. Mimo postępującego procesu dekolonizacji zachodnie państwa, takie jak Wielka Brytania czy Stany Zjednoczone, nadal liczyły na utrzymanie statusu posiadania niczym nieograniczanego wpływu na globalną sytuację na rynku ropy naftowej. Tymczasem rynki surowców energetycznych czekała bardzo istotna zmiana. Dążąc do osiągnięcia bardziej sprawiedliwego podziału korzyści płynących z posiadanych zasobów, najwięksi eksporterzy ropy naftowej – Arabia Saudyjska, Irak, Iran, Kuwejt i Wenezuela – powołali do życia, we wrześniu 1960 r., na konferencji w Bagdadzie Organizację Krajów Eksportujących Ropę Naftową – Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC).

Podstawowe cele OPEC zawarte zostały w artykule 2 jej statutu i dotyczyły koordynacji i zharmonizowania polityki naftowych państw członkowskich oraz określenia najlepszych sposobów ochrony ich interesów, zarówno indywidualnych, jak i zbiorowych. Organizacja zobowiązała się także do zapewnienia krajom wydobywającym ropę stabilnych cen jej sprzedaży wraz z propozycją wyeliminowania szkodliwych wahań na rynkach światowych. Wreszcie gwarantując sprawiedliwy podział zysków wśród krajów producentów, organizacja zapewniła krajom konsumentom efektywne, ekonomicznie opłacalne i regularne dostawy ropy, a koncernom paliwowym – uczciwy zysk płynący z zaangażowanego przez nie kapitału (OPEC 2012). W 1961 r. do organizacji dołączył Katar,

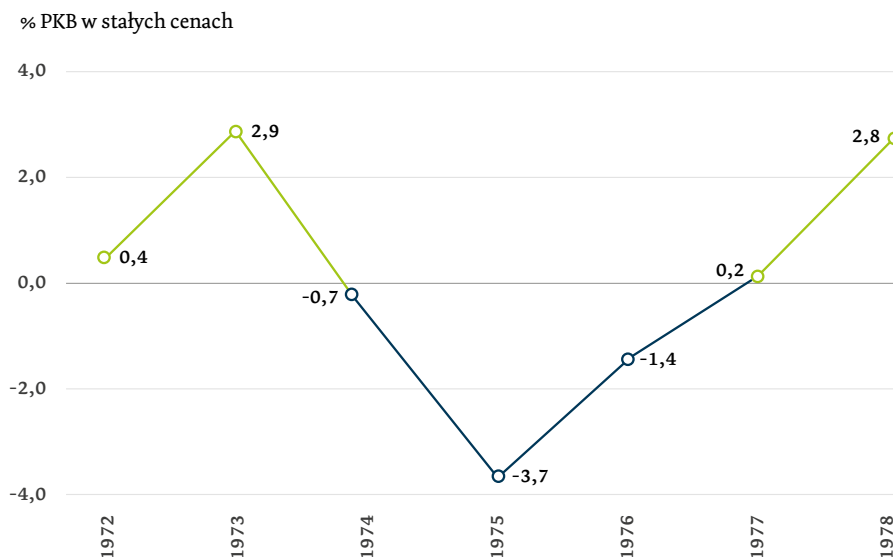
a rok później – Indonezja i Libia (Indonezja wyszła z OPEC w 2008 r. i powróciła do niej w 2016 r.). W 1967 r. do OPEC wstąpiło Abu Dhabi, które w 1971 r. wraz z pięcioma innymi emiratami utworzyło federację funkcjonującą jako Zjednoczone Emiraty Arabskie (od tego czasu do OPEC należy cała federacja, do której później dołączył siódmy emirat). W 1969 r. w OPEC znalazła się Algieria, a dwa lata później Nigeria. W 1973 r. OPEC rozszerzyła się o Ekwador (Ekwador wystąpił z organizacji w 1992 r. i powrócił do niej w 2007 r.). W 1975 r. do OPEC wszedł Gabon (jednak pozostał w organizacji tylko do 1996 r.), w 2007 r. członkiem została Angola, w 2017 r. Gwinea Równikowa, a ostatnim członkiem tej organizacji zostało w 2018 r. Kongo.

W chwili obecnej do OPEC należy 14 państw, głównie z Afryki i Bliskiego Wschodu, ale także Ameryki Południowej. Są to: Arabia Saudyjska, Zjednoczone Emiraty Arabskie, Iran, Irak, Kuwejt, Wenezuela, Nigeria, Gabon, Angola, Algieria, Ekwador, Kongo, Gujana Równikowa oraz Libia. Na liście największych producentów ropy naftowej wśród państw OPEC w 2019 r. Arabia Saudyjska znajdowała się na pierwszym miejscu (w lutym 2019 r. produkcja wyniosła 10,087 mln baryłek dziennie), na miejscu drugim – Irak (produkcja 4,633 mln baryłek dziennie), na miejscu trzecim – Zjednoczone Emiraty Arabskie (3,072 mln baryłek dziennie), na miejscu czwartym – Iran (2,743 mln baryłek dziennie), na miejscu piątym – Kuwejt (2,709 mln baryłek dziennie), na miejscu szóstym – Nigeria (1,741 mln baryłek dziennie), na miejscu siódmym – Angola (1,457 mln baryłek dziennie), na miejscu ósmym – Algieria (1,026 mln baryłek dziennie), na miejscu dziewiątym – Wenezuela (1,008 mln baryłek dziennie), na miejscu dziesiątym – Libia (906 tys. baryłek dziennie), na miejscu jedenastym – Ekwador (522 tys. baryłek dziennie), na miejscu dwunastym – Kongo (316 tys. baryłek dziennie), na miejscu trzynastym – Gabon (197 tys. baryłek dziennie) oraz na miejscu czternastym – Gwinea Równikowa (126 tys. baryłek dziennie) (OPEC 2019). Należy wspomnieć, że obecnie pierwsze miejsce wśród największych producentów ropy naftowej zajmują Stany Zjednoczone, gdzie produkcja osiągnęła w styczniu 2019 r. poziom bliski 12 mln baryłek dziennie (*U.S. Energy Information Administration* 2019).

Pomimo powołania do życia OPEC ceny ropy naftowej na globalnych rynkach utrzymywały się aż do początku lat 70. XX w. na relatywnie niskim poziomie, oscylującym wokół 2–3 dolarów (w cenach bieżących) za baryłkę. Przełomowym wydarzeniem dla dalszego rozwoju sytuacji na rynkach paliw okazała się dopiero wojna izraelsko-arabska, która wybuchła w 1973 r. Dzięki politycznemu i militarnemu poparciu udzielonemu przez Stany Zjednoczone i część krajów europejskich Izrael wyszedł z konfliktu obronną ręką, ale rządy kilku krajów członkowskich OPEC, chcąc wspomóc arabską stronę konfliktu, postanowiły nie tylko drastycznie zmniejszyć wydobycie ropy naftowej,

ale także nałożyć embargo na jej dostawy do krajów, które swymi działaniami wsparły Izrael w trakcie wojny. Podjęte działania doprowadziły do gwałtownego spadku podaży ropy na rynkach światowych, a towarzysząca temu panika pociągnęła za sobą pierwszy szok naftowy i na przełomie lat 1973–1974 kilkakrotny wzrost cen surowca (Covi 2015). Gospodarki zachodniej części świata nie były przygotowane na wprowadzone embargo i olbrzymi wzrost cen ropy naftowej. Kombinacja czynników związanych z brakiem alternatywnych źródeł pozyskania energii i niewystarczających zapasów surowca doprowadziła po okresie dynamicznego wzrostu gospodarczego z lat 60. XX w. do gwałtownego kryzysu gospodarczego. Zmiana w fazach cyklu koniunkturalnego jest dobrze widoczna na przykładzie PKB Stanów Zjednoczonych (rys. 2.11). Wybór USA nie jest przypadkowy, gdyż jako największa wolnorynkowa gospodarka świata w tym okresie, a jednocześnie silnie uzależniona od importu paliw kopalnianych, w tym przede wszystkim ropy naftowej i gazu, wyznaczała tendencje gospodarcze, które w podobny sposób ujawniały się w kolejnych wysokorozwiniętych gospodarkach świata zachodniego. Dynamicznie rosnące koszty źródeł energii przełożyły się na wzrost cen, który wraz ze spowolnieniem gospodarczym wprowadził świat zachodni w okres stagflacji (Greenley 2019).

**Rysunek 2.11.** Luka pomiędzy realnym i potencjalnym PKB w Stanach Zjednoczonych w latach 1970–1978 (% PKB, w cenach z 2010 r.)



Źródło: European Commission, Directorate General for Economic and Financial Affairs, AMECO Database, Update 8 November 2018.

Wywołany sankcjami i rosnącą ceną ropy naftowej kryzys gospodarczy spowodował powstanie znaczącej luki PKB, której wielkość w Stanach Zjednoczonych osiągnęła poziom niemal 4% PKB w 1975 r. (rys. 2.11)<sup>5</sup>. W kolejnych latach luka PKB w Stanach Zjednoczonych systematycznie się zmniejszała, a sprzyjały temu zmiany strukturalne, które następowały nie tylko w USA, ale także w pozostałych zachodnich gospodarkach. Zmierzały one w kierunku większej niezależności od dostaw surowca z Bliskiego Wschodu, a w szczególność z państw należących do OPEC. By zwiększyć dywersyfikację dostaw paliw gospodarki wysoko rozwiniętych państw Zachodu, w pierwszej kolejności rozpoczęto poszukiwania nowych złóż (Europa, Ameryka Południowa, Afryka).

Okazało się także, że dotychczas nieopłacalne, ze względu na wysokie koszty wydobycia, złoża ropy stają się rentowne. Za główną przyczynę tej sytuacji należy uznać dynamiczny wzrost cen surowca na rynkach światowych i prognozy, które sugerowały, że ceny paliw w długim okresie nie będą już niższe. W następstwie kryzysów paliwowych stwierdzono, że inwestycje na dotychczas mniej atrakcyjnych terenach wydobywczych mogą mieć bardzo dobre, długofalowe perspektywy. Zmieniło się także podejście zachodnich społeczeństw do użytkowania surowców energetycznych. Wbrew dotychczasowemu mniemaniu zasoby ropy naftowej nie były nieograniczone i powszechnie dostępne. Okazało się również, że państwa produkujące i eksportujące ropę naftową mogły wykorzystywać ją w celach politycznego oddziaływania w skali globalnej. Dotychczasową rozrzutność bogatych społeczeństw świata zachodniego zastąpiło myślenie w sferze racjonalnej konsumpcji i efektywnej produkcji dóbr podstawowych, których cena gwałtownie wzrosła w wyniku kryzysów paliwowych. Zmieniające się podejście konsumentów do wykorzystania surowców mineralnych na rzecz bardziej oszczędnego dysponowania nimi, nie miało jednak jeszcze wymiaru ekologicznego, kształtowało się przede wszystkim pod wpływem czynników

---

<sup>5</sup> Luka PKB jest to wyrażona w procentach różnica między produkcją potencjalną a faktyczną osiągniętą. Produkcja potencjalna to produkcja, którą można wytworzyć w gospodarce, gdy racjonalnie wykorzystane są wszystkie czynniki produkcji, tj. zasoby pracy, kapitału i ziemi. Rozmiary produkcji potencjalnej zależą od wielkości tych zasobów czynników produkcji, które występują w gospodarce, oraz od efektywności ich wykorzystania. Natomiast produkcja faktyczna oznacza produkcję, która rzeczywiście została wytworzona w analizowanej gospodarce. W systemie rynkowym, w którym produkcję wytwarzają przedsiębiorstwa maksymalizujące zysk, jej poziom wyznaczony jest przez możliwości opłacalnej sprzedaży. Przy wysokim popycie na towary produkcja faktyczna może osiągnąć poziom produkcji potencjalnej, co oznacza pełne wykorzystanie czynników produkcji. Jeśli popyt na towary jest niższy, to produkcja faktyczna odchyła się w dół od produkcji potencjalnej. Zasoby czynników produkcji są wówczas częściowo niewykorzystane i pojawia się luka PKB.

ekonomicznych i politycznych, opartych na strachu przed zależnością od producentów ropy naftowej.

Kryzys paliwowy zmienił także orientację państw, w tym przede wszystkim Stanów Zjednoczonych, Wielkiej Brytanii, Niemiec i Francji, gdzie zintensyfikowano programy rozwoju i rozbudowy energetyki atomowej lub, tak jak w Wielkiej Brytanii, podjęto decyzję o znacznym wydłużeniu okresu funkcjonowania wybudowanych wcześniej elektrowni atomowych. Kryzys paliwowy zdecydowanie przyspieszył także rozwój energetyki atomowej w Republice Federalnej Niemiec i zaowocował inwestycjami, dzięki którym w latach 1970–1975 uruchomiono 15 nowych bloków jądrowych (Kirchhof i in. 2018). Zmiany ekonomiczne, będące następstwem kryzysów paliwowych, zmieniły także gospodarkę światową. Niskie koszty produkcji, związane dotychczas z kontrolą przez globalne korporacje zasobów surowców energetycznych, w dużym stopniu zostały ograniczone, dając w ten sposób impuls do przyspieszenia procesów globalizacyjnych i poszukiwania nowych i tanich sposobów produkcji, skierowanych przede wszystkim na wykorzystanie zasobów państw Trzeciego Świata.

#### **Ropa naftowa od I wojny światowej stanowiła pożądany surowiec, z powodu którego wybuchły wojny i dochodziło do aktów petroagresji:**

- I wojna światowa: pewne operacje zaplanowano na zdobycie panowania nad zasobami ropy. Pokój w Bukareszcie zawarty między państwami centralnymi a Rumunią zawierał między innymi ustalenia dotyczące przyznania koncesji naftowych Niemcom
- Wojna Chaco: 1932–1935 – między Boliwią a Paragwajem o kontrolę nad północną częścią regionu Gran Chaco, bogatego w ropę
- II wojna światowa – ambicją Hitlera było zdobycie zasobnych w ropę Groznego i Baku. Istotną rolę w doprowadzeniu do porażki Niemiec nazistowskich miały kampanie naftowe – naloty RAF i USAAF na rafinerie i magazyny ropy i produktów ropopochodnych zaopatrujące i obsługujące nazistów. Cele położone były w Niemczech, Belgii, Holandii, Francji, Rumunii, Czechosłowacji, we Włoszech, na Węgrzech, w Austrii i Serbii
- Wojna domowa w Nigerii (Biafra) – 1967–1970: toczyła się między innymi o kontrolę nad ropą w Delcie Nigru
- Wojny Saddama Husajna: Iran–Irak 1980–1988; Wojna w Zatoce 1990–1991, Wojna w Iraku 2003–2004
- Konflikt w delcie Nigru: od 2004 r.
- Kryzys Heglig: Sudan Płd., Sudan
- Militarna interwencja Rosji podczas wojny w Syrii 2015 r.
- Temat ropy pojawiał się w: wojnie w Donbasie, podczas operacji Lotos w Indonezji, w konflikcie między Czadem a Libią, z powodu ropy Iran udzielił wsparcia Hezbollahowi i bojownikom szyickim, kwestia ropy leżała też u podstaw aktywności Arabii Saudyjskiej w wojnie w Jemenie

Należy dodać, że równoległe do zmian strukturalnych zmieniających energochłonność produkcję w zaawansowane technologicznie efektywne gospodarki, także i sam rynek ropy naftowej uległ zrównoważeniu, choć nastąpiło to przy cenie kilkakrotnie przekraczającej cenę z okresu równowagi z 1973 r. Przykładowo w latach 1977–1978 ceny ropy w USA kształtowały się na poziomie ponad czterokrotnie wyższym w porównaniu z początkiem lat 70. – ok. 14 USD za baryłkę (U.S. Energy Information Administration 2019).

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej czynniki, należy stwierdzić, że Stany Zjednoczone i gospodarki zachodnioeuropejskie wyszły z kryzysu paliwowego lat 1973–1974 lepiej przygotowane do wahań podaży i cen na rynku naftowym. Wymuszona przez wysokie ceny paliw i rosnące koszty produkcji transformacja gospodarcza dała wręcz impuls do dalszego rozwoju i rosnącej dominacji w skali globalnej państw zachodnich, w tym przede wszystkim USA. Można wręcz posunąć się do stwierdzenia, że choć kryzysy paliwowe dały w krótkiej perspektywie pewną przewagę państwom zza żelaznej kurtyny, ze względu na dostęp do tanich zasobów surowcowych, to w długim okresie przyczyniły się do upadku ZSRR i przemian wolnościowych w Europie Centralnej. Państwa zachodniej Europy i USA dynamicznie zmierzały w kierunku wzrostu efektywności i technologicznie zaawansowanego systemu gospodarczego, podczas gdy państwa będące za żelazną kurtyną zmierzały do katastrofy gospodarczej, która stała się faktem już w kolejnej dekadzie XX w.

Dodatkowo w 1974 r. została powołana do życia Międzynarodowa Agencja Energii – MAE (*International Energy Agency*), której członkami założycielami były: Austria, Belgia, Kanada, Dania, Niemcy, Irlandia, Włochy, Japonia, Luksemburg, Holandia, Norwegia (na mocy specjalnej umowy), Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Turcja, Wielka Brytania i Stany Zjednoczone. W kolejnych latach do MAE dołączyły nowe kraje członkowskie: Grecja (1976), Nowa Zelandia (1977), Australia (1979), Portugalia (1981), Finlandia (1992), Francja (1992), Węgry (1997), Czechy (2001), Republika Korei (2002), Słowacja (2007), Polska (2008), Estonia (2014), a także Meksyk (2018). Główny cel Agencji sprowadza się do koordynacji współpracy energetycznej pomiędzy 30 państwami wchodzącymi w jej skład. W rezultacie – poczynając od połowy lat 70. XX w., Agencja stała się centralnym punktem współpracy energetycznej w wielu ważnych kwestiach dotyczących między innymi: bezpieczeństwa dostaw surowców naturalnych, długoterminowej polityki energetycznej, dostępu do informacji czy działań w zakresie ochrony środowiska. Wspiera ona także dążenie do zmniejszenia nadmiernej zależności od ropy, poprzez działania oszczędnościowe, rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz badania naukowe. Podjęte w wyniku pierwszego kryzysu paliwowego z lat 1973–1974 działania pozwoliły w pewnym stopniu przygotować się zachodnim gospodarkom na nadejście kolejnego



kryzysu w latach 1979–1980. Miał on miejsce w okresie rosnących napięć w polityce międzynarodowej.

Wydarzeniem, które po raz kolejny zmieniło oblicze Bliskiego Wschodu, stała się irańska rewolucja islamska. Doprowadziła ona w 1979 r. w następstwie obalenia szacha Mohammada Rezy Pahlawiego do przekształcenia Iranu z monarchii konstytucyjnej w republikę islamską.

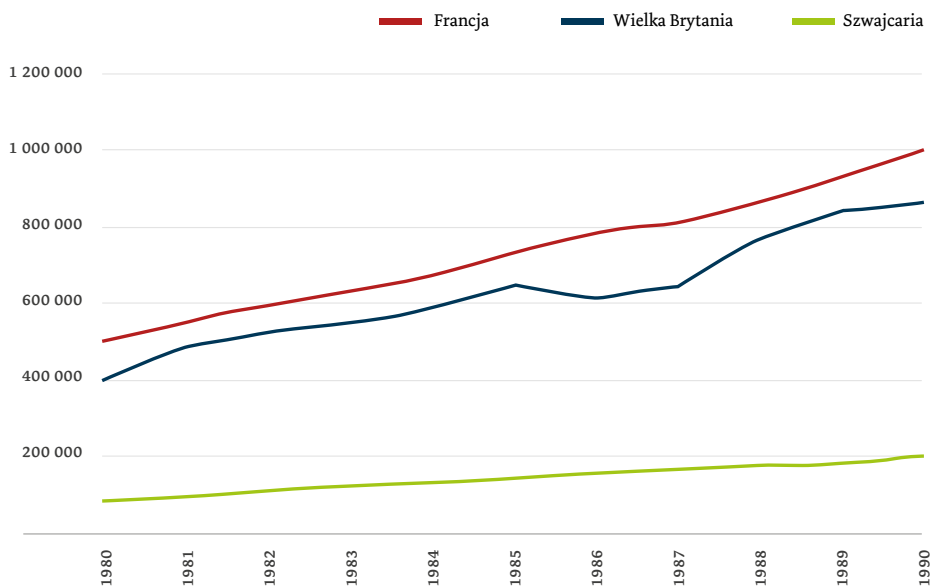
Rewolucja islamska przyniosła gwałtowny spadek wydobycia i ograniczenie dostaw ropy naftowej na globalny rynek także ze względów ideologicznych i religijnych. W tym samym roku rozpoczęła się inwazja Związku Radzieckiego na Afganistan. ZSRR chciał umocnić i utrzymać u władzy zależny od siebie rząd w sąsiadującym Afganistanie. Interwencja została podjęta w momencie, gdy zaistniały warunki sprzyjające do przejęcia pełnej radzieckiej kontroli nad Afganistanem. Świat zachodni obawiał się dalszej ekspansji ZSRR na obszar Bliskiego Wschodu i choć ona nie nastąpiła, to krwawy i długotrwały konflikt irańsko-iracki był jej ewidentnym rezultatem, prowadząc do dalszego wzrostu napięć i eskalacji problemów na rynku paliw.

Istotnym czynnikiem kształtującym sytuację na rynku ropy naftowej stało się zaostrzenie polityki państw OPEC. Ze względów politycznych, ale także ekonomicznych, państwa OPEC uznały pod koniec lat 70. XX w., że jest to odpowiedni czas na wprowadzenie dalszych limitów ograniczających produkcję, co spowodowało dalsze podniesienie cen tego surowca. W rezultacie wojny iracko-irańskiej, agresywnych działań ZSRR i twardego stanowiska państw OPEC na przełomie lat 70. i 80. XX w. nastąpiła druga olbrzymia wyżka cen ropy naftowej. Pomiędzy 1979 i 1980 r. światowe ceny ropy wzrosły ponaddwukrotnie, osiągając w 1980 r. poziom niemal 37 dolarów w cenach bieżących (w 1978 r. cena wynosiła 14 USD). W kolejnych latach uspokoiła się jednak sytuacja i nastąpił systematyczny spadek cen na światowych rynkach paliw. Kolejny kryzys naftowy, pomimo ukształtowania cen na najwyższych dotychczasowych poziomach, nie wywołał w zachodnich gospodarkach takiego szoku jak kryzys z lat 1973–1974 (rys. 2.12).

Większa odporność globalnej gospodarki na restrykcyjną politykę państw OPEC była efektem podjętych już we wcześniejszych latach działań ukierunkowanych na mniejszą energochłonność. W tym kontekście kryzys z lat 1973–1974 przyniósł pozytywną zmianę w świecie zachodnim w strukturalnym podejściu do surowców paliwowych. Nieco inaczej wyglądała sytuacja w Stanach Zjednoczonych. Problemy gospodarcze, które wystąpiły w tym państwie w latach 80., były efektem nałożenia się wielu istotnych czynników, w tym rosnącej ceny surowców energetycznych. Dynamicznie rosły wydatki budżetowe związane z prowadzeniem wojny w Wietnamie oraz zwiększeniem wydatków socjalnych. W efekcie pod koniec lat 70. znacząco wzrosły ceny,

przy jednoczesnym wzroście poziomu bezrobocia. Reakcją na te negatywne zmiany w gospodarce i na rynku pracy stał się zaproponowany przez administrację Ronalda Reagana zestaw najważniejszych elementów polityki ekonomicznej, zwany w Polsce reaganomiką. Polityka ta objęła redukcję wydatków federalnych, w tym przede wszystkim wydatków socjalnych, przy jednoczesnych zmianach w systemie fiskalnym. Reformy te miały służyć zwiększeniu aktywności ekonomicznej Amerykanów. Zaproponowano także deregulację i ograniczenia kontroli państwa w sferze ekonomicznej i wprowadzono nowe zasady polityki monetarnej, która umożliwiłaby długofalowy wzrost gospodarczy przy jednoczesnym ograniczeniu zjawiska inflacji (Goodfriend i in. 2005).

**Rysunek 2.12.** PKB wybranych państw Europy Zachodniej w latach 1980–1990, ceny bieżące, mln euro



Źródło: Eurostat 2019.

Ograniczenie wydatków federalnych wraz z polityką trudnego pieniądza, a więc wysokim poziomem stóp procentowych i ograniczeniem dostępności kredytów, przyniosło spadek inflacji i wywołało jednak recesję gospodarczą, której kumulacja przypadła na lata 1982 i 1983. Luka PKB w 1983 r. wyniosła 5% wytwarzanego w USA produktu. Spadek popytu na ropę w państwach importerach, który nastąpił wraz ze spadkiem wartości dolara jako waluty, w której rozliczono transakcje na rynku paliw, spowodował, że mimo wzrostu cen na przełomie lat 70. i 80. realne przychody krajów OPEC z eksportu ropy spadły w kolejnej

dekadzie. Państwa OPEC nie mogły uzgodnić wspólnej polityki, która nie prowadziłaby do nadmiernego spadku popytu w państwach zachodnich, a tym samym pozwoliłaby utrzymać wysokie dochody. Do najważniejszych przyczyn tego stanu należał wewnętrzny podział pomiędzy sunnitami i szyitami, przebiegający wokół osi krwawego konfliktu pomiędzy dwoma członkami OPEC – Irakiem i Iranem.

W drugiej połowie lat 80. XX w. systematycznie spadały ceny na rynkach paliw. Proces ten utrzymywał się do początku lat 90. i wojny w Zatoce Perskiej. Problemy związane z wojną okazały się przejściowe, a gospodarka światowa – odporna na zawirowania na rynku ropy naftowej. Twarde reguły gry narzucone przez kryzysy paliwowe z lat 70. wymusiły wzrost efektywności i technologicznego zaawansowania procesów produkcyjnych w gospodarkach wolnorynkowych, które w dużym stopniu umożliwiły elastyczną reakcję na pojawiające się napięcia na rynku surowców.

W latach 90. i pierwszych latach XXI w. miał miejsce bezprecedensowy wzrost gospodarczy w państwach zachodnich. Motorem tych pozytywnych zmian stały się przemiany dokonujące się w geopolityce, których najważniejszym elementem był koniec dwubiegunowego świata podzielonego żelazną kurtyną. Dystans do państw zachodnich zaczął się zmniejszać także w przypadku gospodarek wielu państw azjatyckich i południowoamerykańskich.

Nie mniej ważny był proces pogłębiającej się integracji europejskiej, która dodatkowo w efekcie kolejnych rozszerzeń trwających od połowy lat 90. liczyła coraz więcej państw członkowskich. Dynamicznie rozwijała się także gospodarka Stanów Zjednoczonych, która poprzez swoją mocarstwową pozycję mogła narzucić i wykorzystać proces liberalizacji handlu międzynarodowego i globalizacji światowych rynków.

Na wzroście gospodarki światowej skorzystali także producenci ropy naftowej zrzeszeni w OPEC. Dzięki koordynacji polityki i rosnącemu popytowi ceny ropy naftowej ponownie zaczęły rosnąć. Niewątpliwie przyczynił się do tego także niepokój dotyczący stabilności politycznej i ekonomicznej w skali globalnej, wynikający z ataku na WTC w 2001 r. i narastania wojny z terroryzmem (Kollias i in. 2011). W rezultacie koniec pierwszej dekady XXI w. przyniósł gwałtowny wzrost cen ropy naftowej stymulowany dodatkowo rosnącym popytem państw azjatyckich i niepokojem o proces demokratyzacji państw arabskich, rozpoczęty arabską wiosną w 2010 r. (Gyagri i in. 2017).

W ostatnich latach sytuację na rynku determinowała nadwyżka podaży sprowadzająca cenę ropy do nienotowanych od lat niskich poziomów. Była ona wynikiem rewolucji w wydobyciu gazu łupkowego i ropy w Stanach Zjednoczonych (Álvarez i in. 2017). Pod koniec drugiej dekady XXI w. coraz większe stały się obawy o stabilność sytuacji gospodarczej i geopolitycznej w skali

globalnej. Ma to związek z dramatyczną sytuacją społeczną i gospodarczą części państw afrykańskich i południowoamerykańskich, czy też narastającą wojną ekonomiczną pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Chinami. Sytuacji nie poprawia wzmagający się konflikt, mający już wymiar militarny, pomiędzy Stanami Zjednoczonymi i Izraelem a Iranem oraz przewidywane spowolnienie ekonomiczne państw członkowskich Unii Europejskiej. Te czynniki wraz z rozwojem technologicznym, umożliwiającym coraz szersze i bardziej efektywne wykorzystanie alternatywnych źródeł energii, determinować będą sytuację na rynku ropy naftowej w kolejnych latach. Do zmian przyczynia się coraz większe znaczenie obecnych potentatów w produkcji surowców energetycznych. Kraje Bliskiego Wschodu, takie jak Arabia Saudyjska, Zjednoczone Emiraty Arabskie czy Katar, szukają możliwości dywersyfikacji gospodarczej, odchodząc od oparcia dochodów budżetowych na dochodach z wydobywania i eksportu surowców energetycznych. Ten cel był także jednym z powodów utworzenia przez bliskowschodnich producentów ropy naftowej Rady Współpracy Zatoki Perskiej na początku lat 80. XX w.

### 2.3. Dywersyfikacja gospodarcza na przykładzie państw Rady Współpracy Zatoki Perskiej

Odkrycie złóż ropy naftowej spowodowało, że region Zatoki Perskiej zyskał dla światowej gospodarki szczególne znaczenie. Wraz z transformacją gospodarek państw uprzemysłowionych dotyczącą przechodzenia na wykorzystanie energii pochodzącej z ropy naftowej następowało ich uzależnianie się od tego surowca. Transport ropy wymagał dostępu do bezpiecznych dróg, w związku z tym wody Zatoki Perskiej urosły do rangi kluczowych szlaków transportowych. Obecnie szlakami tymi dostarczane jest 20% światowej podaży ropy naftowej i 22% gazu płynnego LPG. Destabilizacja regionu lub blokada morskich szlaków transportowych odcięłaby państwa Zachodu od jednej piątej nabywanych surowców energetycznych. Jednocześnie w wyniku zmiany polityki energetycznej państw Zachodu, powodowanej problemami środowiskowymi, kraje Zatoki, których gospodarki oparte są na surowcach kopalnych, stają przed poważną ekonomiczną groźbą, która skłania je do transformacji gospodarczej.

Rada Współpracy Zatoki Perskiej – RWZP (Gulf Cooperation Council – GCC) powstała w 1981 r. w Rijadzie. W jej skład wchodzi 6 państw członkowskich: Bahrajn, Arabia Saudyjska, Kuwejt, Oman, Katar oraz Zjednoczone Emiraty Arabskie. Państwa te mają wiele cech wspólnych na płaszczyźnie ekonomicznej, politycznej, kulturowej i społecznej. Ich położenie geograficzne odgrywa ważną rolę ze względu na znajdujące się na terenie Półwyspu Arabskiego

i Zatoki Perskiej obfite zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego. Złoża te zostały odkryte po II wojnie światowej i od tego czasu państwa członkowskie RWZP doświadczają olbrzymich zmian. Awansowały one z grupy najbiedniejszych na świecie do grona najbogatszych, stając się kluczowymi graczami na globalnym rynku ropy naftowej.

**Tabela 2.2.** Zasoby ropy naftowej w krajach RWZP

Kraj	Rezerwy ropy w 2017 r. (w mld baryłek)	Miejsce w światowym rankingu	Wydobycie w 2017 r. (w mld baryłek)	Na ile lat wystarczy?
Arabia Saudyjska	266,455	2	3818,1	69
Kuwejt	101,500	6	1067,2	27
ZEA	97,800	7	1133,7	18
Katar	25,244	14	555,9	5
Oman	5,375	22	367,5	15
Bahrajn	125,00 mln + nowo odkryte złoża, 80 mld	68	146,0	6

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych OECD.

Tabela 2.2 pokazuje obecną pozycję państw RWZP w światowym rankingu energetycznym. Na ich obszarze znajduje się ok. 51% dowiedzionych rezerw naftowych. Aby zobrazować skalę rezerw surowcowych jednego tylko państwa Zatoki Perskiej – Arabii Saudyjskiej, należy podkreślić, że posiada ona złoża ropy, które są większe niż łączne zasoby obszarów Ameryki Północnej, Europy i Rosji.

Do lat 70. XX w. młode państwa naftowe były bardzo zacofane pod względem ekonomicznym. Zamieszkiwała je ludność beduińska, prowadząca koczowniczy i nomadyczny tryb życia. Większość skupisk ludzkich występowała w postaci niewielkich oaz lub małych osad rybackich. Oprócz wydobycia surowców energetycznych przez międzynarodowe korporacje brakowało jakiegokolwiek przemysłu na tym terenie. Kraje te charakteryzowała również niska jakość instytucjonalna, która dopiero zaczynała się tworzyć.

Na początku zagraniczne korporacje nie chciały dzielić się udziałami w zyskach z wydobycia ropy naftowej z lokalnymi władzami, jednak gdy do tego doszło, okazało się, że państwa te nie są instytucjonalnie przygotowane do ich racjonalnego zagospodarowania. Ponadto złoża ropy naftowej znajdowały się na obszarach głęboko zacofanych gospodarczo. Do podstawowych barier

rozwojowych w tamtym okresie zaliczyć można brak infrastruktury, śladowy poziom zurbanizowania, lukę demograficzną (poza Arabią Saudyjską) oraz bardzo niską jakość zasobów ludzkich.

Pierwszy etap transformacji gospodarek państw RWZP rozpoczął się od nagłego napływu bogactwa w latach 1971–1989. W ciągu niecałych dwóch dekad kraje te przeskoczyły pod względem dochodu na jednego mieszkańca z grupy państw zacofanych do krajów o średnim i wysokim dochodzie. Napływ bogactwa spowodowany był dwoma szokami naftowymi. Bezpośrednią przyczyną wspomnianego już pierwszego kryzysu naftowego, który wybuchł w 1973 r., było spotkanie przedstawicieli OPEC w Kuwejcie. Podjęto tam, z inicjatywy Arabii Saudyjskiej i Iranu, historyczną decyzję o zmniejszeniu wydobycia ropy naftowej bez porozumienia z największymi światowymi koncernami naftowymi, takimi jak: Exxon, Shell, BP, Gulf, Texaco czy Socony Mobil. Na ten krok zdecydowano się przede wszystkim w następstwie wybuchu wojny między Izraelem a Egiptem i Syrią. Postanowienia krajów OPEC zakładały, że po raz pierwszy kontrolę nad produkcją ropy naftowej będą sprawować rządy krajów członkowskich tej organizacji. Będą one wyznaczać podatki płacone przez koncerny naftowe oraz limitować wydobycie i eksportować ten surowiec tylko do tych państw, które popierają kraje arabskie w wojnie z Izraelem. Decyzja ta wywołała szybki wzrost cen ropy o ok. 400% z 3 USD do ok. 12 USD za baryłkę. Notowania cen ropy w przedziale 12,15 USD utrzymywały się na światowych rynkach do końca lat 70. XX w., kiedy to doszło do drugiego szoku naftowego. Miał on miejsce w 1979 r. i stanowił skutek rewolucji islamskiej w Iranie. Efektem przewrotu w tym kraju było między innymi całkowite wstrzymanie przez niego eksportu, co wywołało kolejny drastyczny skok cen ropy naftowej. W ciągu zaledwie kilku miesięcy notowania tego surowca wzrosły o ponad 100% – z ok. 17 USD przejściowo aż do ponad 40 USD, co stanowiło wówczas rekordową cenę ropy w historii światowych rynków. Dodatkowymi czynnikami pogarszającymi koniunkturę na rynku naftowym była agresja ZSRR na Afganistan w październiku 1979 r., a także wybuch wojny iracko-irańskiej na początku 1980 r.

Dochody z ropy naftowej pozwoliły na błyskawiczny wzrost standardu życia w krajach RWZP. Początkowo wzrost dotyczył władców monarchii, a nieco później ze zdobyczy dobrobytu korzystała cała ludność rodzima. Warto zwrócić uwagę, że wzrost poziomu życia nie wiązał się koniecznością ponoszenia wyrzeczeń w postaci ciężkiej pracy czy oszczędności, a środki pochodziły z renty z eksportu surowców energetycznych. Pomimo rozrzutnego stylu życia ludności państw naftowych olbrzymi napływ środków pozwolił tym krajom przeznaczać nadwyżki finansowe na budowę struktur państwa, tworzenie instytucji, inwestycje w infrastrukturę, wydatki na cele społeczne. W latach 80. XX w.

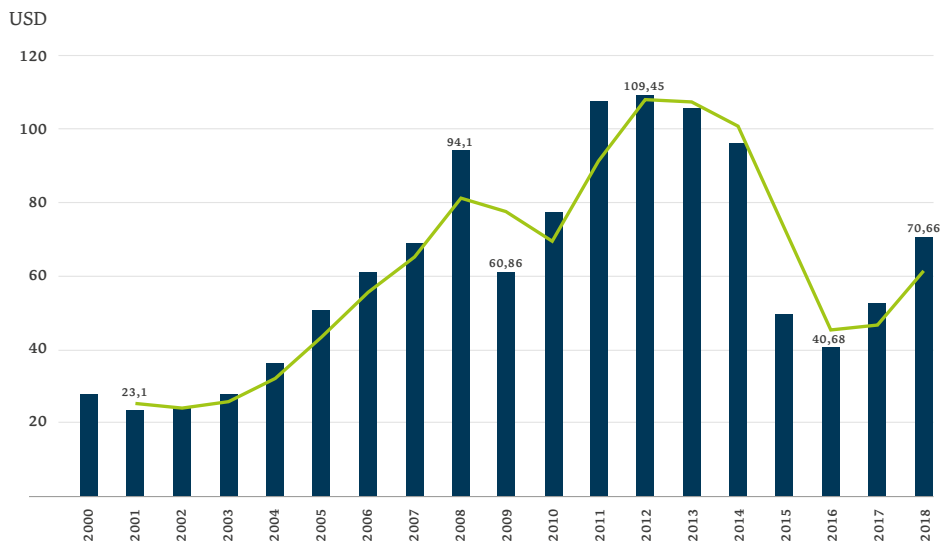
wprowadzono szeroką sieć dotacji obejmujących podstawowe dobra konsumpcyjne, jak energia elektryczna, benzyna czy woda. Zapoczątkowano również model polityki społecznej, który gwarantował opiekę państwa nad obywatelem od urodzin aż do śmierci. Wprowadzono system darmowej edukacji oraz opiekę medyczną wysokiej jakości. Przyjęto także regulacje dotyczące poziomu wynagrodzeń (niewspółmiernie wysokie i nieuzasadnione wydajnością stawki płac dla rdzennej ludności), udzielono gwarancje zatrudnienia mieszkańcom i rozwinęto system nieodpłatnego budownictwa. Rozpoczęto wiele inwestycji infrastrukturalnych, takich jak: budowa elektrowni, dróg, lotnisk czy zakładów odsalania wody morskiej. Władze rozpoczęły także tworzenie i rozbudowę miast. Doprowadziło to do zmiany struktury społecznej, gdyż urbanizacja wymusiła osiedlanie się Beduinów na terenach miejskich i stopniowe przekształcanie ich w mieszczan. Problem małej liczby ludności i niedoboru wykwalifikowanych kadr został rozwiązany przez sprowadzenie zagranicznych pracowników.

Po w miarę stabilnej dekadzie lat 90. w pierwszej dekadzie XXI w. nastąpił kolejny gwałtowny wzrost cen ropy naftowej na rynkach światowych. Okres kulminacyjny bogacenia się państw RWZP przypada na lata 2009–2014, kiedy to ceny ropy naftowej na rynku światowym osiągały rekordowy poziom, dochodząc do 110 USD za baryłkę. Do 2017 r. państwa RWZP skumulowały aktywa i kapitał o wartości ponad 7,3 trylionów USD (Amar i in. 2018), głównie inwestowane przez ich państwowe fundusze majątkowe (PFM) na rynkach światowych. Zainwestowano również w infrastrukturę, edukację, opiekę zdrowotną, rozwój sieci komunikacyjnych, porty oraz odnawialne źródła energii. Warunki społeczno-ekonomiczne oraz dobrobyt społeczny znacznie się poprawiły, przy czym produkt krajowy brutto (PKB) na mieszkańca Kataru i ZEA przekroczył odpowiednio 100 tys. USD i 66 tys. USD rocznie, co dało tym państwom czołową pozycję wśród krajów o najwyższych na świecie dochodach na mieszkańca.

Ze względu na częste wahania cen ropy naftowej na rynku światowym przychody pochodzące z eksportu surowców energetycznych nie są wartością stałą i nie gwarantują stabilności ekonomicznej.

W latach 2011–2013 wysokie ceny ropy naftowej umożliwiły krajom RWZP uzyskanie nadwyżki fiskalnej w wysokości ok. 600 mld USD, jednak ostry spadek cen ropy o ponad 60%, z ok. 110 USD za baryłkę do 40 USD, w 2016 r. spowodował poważne obawy o stabilność finansową krajów Rady Współpracy Zatoki Perskiej. Międzynarodowy Fundusz Walutowy (MFW) ostrzegał, że utrzymujące się niskie ceny ropy naftowej mogą doprowadzić do deficytu budżetowego w wysokości 700 mld USD do 2020 r. Prognoza ta stanowi ostrzeżenie i silny impuls dla krajów RWZP do budowania dynamicznych gospodarek o zdywersyfikowanej strukturze, które mogą wytrzymać skutki szoków cen ropy naftowej.

**Rysunek 2.13.** Wahania cen ropy naftowej na rynku światowym w latach 2000–2018



Źródło: Baza danych krajów RWPZ, <http://dp.gccstat.org> (dostęp: 2.05.2019).

Obserwując przyjęte przez poszczególne państwa RWPZ strategie rozwoju, można dostrzec, że dążą one do dywersyfikacji gospodarczej, choć do tej pory niewiele osiągnięto w tej kwestii. Świadczą o tym krajowe cykle gospodarcze, które wciąż pozostają zależne od przychodu z eksportu surowców energetycznych. Bardzo wyraźnie zaznacza się negatywny wpływ wahań cen ropy naftowej na PKB poszczególnych państw RWZP.

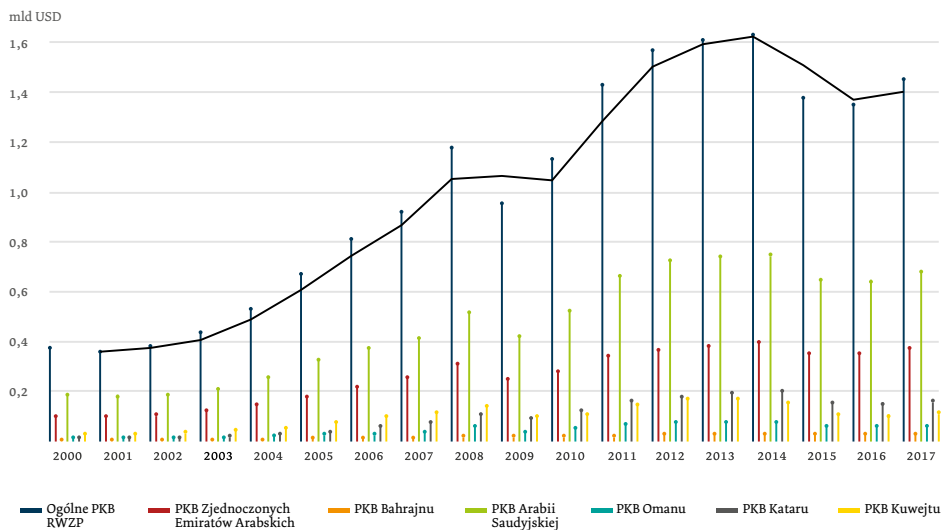
Aby zredukować ten efekt, należałoby przekształcić gospodarki państw RWZP, w których dominuje tradycyjny model alokacji zasobów zależny od rządu, w nowoczesny model wzrostu gospodarczego, opartego na dynamicznie rozwijającym się sektorze prywatnym. Tak radykalne reformy często pociągają za sobą zmiany w sposobie zarządzania i mogą utrudnić proces rozwoju. Przemysłana i dobrze zaplanowana transformacja może pomóc krajom RWPZ wykorzystać efektywnie ich krajowe zasoby w długoterminowym, zrównoważonym rozwoju.

Pierwsza faza dywersyfikacji gospodarczej rozpoczęła się w latach 70. XX w. dzięki rozszerzeniu sektora naftowego o inne gałęzie przemysłu związanego z ropą naftową, takie jak przemysł petrochemiczny czy hutniczy. Przesunęło to znacznie proporcje, jeżeli chodzi o inwestycje, z przemysłu wydobywczego do kapitałochłonnych i energochłonnych gałęzi przemysłu, których produktami były nawozy, stal czy aluminium, nadal wykorzystujących swoją



przewagę komparatywną w sektorze energetycznym. Rozwinęły się również inne branże, które mogły korzystać z taniej energii, produkujące cement i materiały budowlane. Pomimo posiadania przewagi komparatywnej, powstałej przez dostęp do taniej energii, nie doszło do radykalnej zmiany struktury gospodarek państw RWZP.

**Rysunek 2.14.** Wahania wysokości PKB państw RWPZ w latach 2000–2017



Źródło: Baza danych krajów RWPZ, <http://dp.gcstat.org> (dostęp: 2.05.2019).

Obecnie nowa faza dywersyfikacji gospodarczej przybrała formę inwestycji w rozwój kapitału rzeczowego i ludzkiego, w szczególności w obszary związane z infrastrukturą, szkolnictwem i usługami zdrowotnymi. Wykroczyła ona poza sektor energetyczny i powiązane z nim branże, przyczyniając się do budowania gospodarki opartej na wiedzy. Wizje gospodarcze i krajowe strategie rozwoju są obecnie skupione na dywersyfikacji eksportu i rozwoju branż usługowych, takich jak: finanse, turystyka, lotnictwo, media, edukacja, opieka zdrowotna i nieruchomości. Wizje krajowe koncentrują się na kluczowych filarach, takich jak: rozwój zasobów ludzkich, rozwój społeczny, rozwój gospodarczy i ochrona środowiska – wszystkie z nich przyczyniają się do zrównoważonego rozwoju. Oczywiście istnieje wiele wyzwań związanych z tworzeniem gospodarki opartej na wiedzy. Są nimi: obecny stan systemów edukacyjnych krajów RWZP, niskie inwestycje w badania i rozwój (mniejsze niż 1% PKB w porównaniu ze średnią światową wynoszącą 3%) oraz ograniczona wolność obywatelska i polityczna, które znacznie utrudniają rozwój sektora prywatnego. Biorąc pod uwagę dostępność

kapitału i niedobór nieenergetycznych zasobów, należy stwierdzić, że dążenie do stworzenia gospodarki opartej na wiedzy jest prawdopodobnie najbardziej rozsądną opcją dla krajów RWZP, pozwalającą utrzymać społeczeństwo, gdy era ropy naftowej się skończy.

Dywersyfikacja gospodarcza oznacza rozwój procedur, które zmniejszają zależność kraju od jednej branży lub sektora stanowiącego główne źródło przychodów z eksportu i dochodów rządowych. Ma ona duży wpływ na PKB. Dywersyfikacja jest złożonym i długotrwałym procesem, który wymaga poważnych zmian strukturalnych w gospodarce. Może również wystąpić w obrębie tego samego sektora, na przykład w sektorze energetycznym, poprzez przesunięcie inwestycji horyzontalnie lub wertykalnie, stwarzając nowe możliwości powstawania nowych źródeł energii, takich jak np. energia odnawialna<sup>6</sup>. W przypadku krajów RWZP zmniejszająca się zależność od ropy naftowej i gazu ziemnego powstaje poprzez rozwój niewęglowodorowych sektorów gospodarki, takich jak: usługi, produkcja, turystyka i rolnictwo, które mogą stać się nowym źródłem dochodów rządowych.

Zasadniczym powodem dywersyfikacji jest zmniejszenie ryzyka finansowego oraz ustabilizowanie sytuacji ekonomicznej kraju, którego przychód wiąże się z popytem i fluktuacją cen na określone dobro. Na tak niestabilnych i nieprzewidywalnych rynkach jak rynek surowców energetycznych odpowiednie strategie dywersyfikacji przyniosą praktyczne rozwiązania, które zrekompensują spadek cen ropy naftowej na rynku światowym<sup>7</sup>.

W odniesieniu do krajów RWPZ skuteczne zróżnicowanie gospodarcze zależy od zdolności państw do wdrożenia szeroko zakrojonych zmian strukturalnych, które rozwiążą problem braku równowagi między sektorem publicznym a sektorem prywatnym w procesie rozwoju. M. Hvidt (2013) uważa, że polityka mająca na celu wdrożenie dywersyfikacji sprzyja większemu udziałowi sektora prywatnego w rozwoju gospodarczym.

---

<sup>6</sup> M. Hvidt (2013) twierdzi, że dywersyfikacja pociąga za sobą szeroki proces społeczny, który przenosi kraj z jednego źródła dochodu do społeczeństwa, w którym generowanych jest wiele źródeł dochodu i gdzie duże grupy ludności, w tym przedsiębiorstwa publiczne i prywatne, uczestniczą w procesie rozwoju.

<sup>7</sup> Istnieją również inne powody, dla których kraje RWZP powinny zdywersyfikować swoje gospodarki. El F. Kharoufi, S. Al.-Qudsi i S. Obeid (2010) wymieniają niektóre z tych czynników, w tym: niski wskaźnik zrównoważonego rozwoju gospodarczego, brak motywacji do rozwoju kapitału ludzkiego, brak konkurencyjności w czołowych sektorach, prawdopodobieństwo szoków w gospodarce i gwałtowny spadek cen towarów oraz ich negatywne skutki. Ten ostatni czynnik sprawił, że konieczne stało się przyspieszenie dywersyfikacji w krajach RWZP po gwałtownym spadku ceny ropy naftowej w 2014 r.

W regionie RWZP można zidentyfikować trzy kluczowe czynniki dywersyfikacji:

- 1) pierwszym i najważniejszym z nich jest sektor publiczny. Jak podaje Hertog (2012), w przeciwieństwie do większości krajów Bliskiego Wschodu i Afryki Północnej (MENA) krajom RWPZ udało się stworzyć nowy typ dynamicznych, rentownych i szybko rozwijających się przedsiębiorstw państwowych, które odnoszą sukcesy w sektorach produkcji i usług, tym samym stały się przeciwieństwem upolitycznionych i nieefektywnych przedsiębiorstw publicznych w innych krajach wydobywających ropę naftową, takich jak: Wenezuela, Iran i Rosja. Sukces przedsiębiorstw państwowych w krajach Zatoki Perskiej nie oznacza, że kraje te nie powinny rozwijać sektora prywatnego. Przedsiębiorstwa publiczne mogą skupić się na głównych operacjach w produkcji, pozostawiając ogromny sektor usług pomocniczych przedsiębiorstwom prywatnym;
- 2) drugim motorem dywersyfikacji jest sektor prywatny. Znajduje się on na znacznie słabszej pozycji niż sektor publiczny, gdyż w działalność gospodarczą zaangażowana jest stosunkowo niewielka część populacji. Większości obywateli preferuje bowiem pracę dla rządu czy innych elementów sfery publicznej. Przeważająca część prywatnych przedsiębiorstw należy do emigrantów, którzy tymczasowo przyjeżdżają do krajów Zatoki Perskiej. Dział ten ma potencjał, aby stać się siłą napędową dywersyfikacji, głównie dlatego, że przemysł naftowy nie zapewnia wielu miejsc pracy, podczas gdy sektor publiczny jest nadmiernie przepełniony i nie może już wchłonąć wielu nowych uczestników. RWZP rozważa również bezpośrednie inwestycje zagraniczne (BIZ) jako źródło zatrudnienia, transferu technologii, wiedzy i kapitału. Wszystko to jest wymagane do tworzenia gospodarki państw RWZP opartej na wiedzy;
- 3) trzecią siłą napędową dywersyfikacji stanowią państwowe fundusze majątkowe (PFM). Inwestują one środki państwowe uzyskane z eksportu surowców w aktywa zagraniczne na rzecz państwa, w celu oszczędzania środków potrzebnych na wypłaty przyszłych emerytur, zabezpieczenia kraju przed chorobą holenderską czy inwestowania nagromadzonych przez bank centralny rezerw walutowych. Są one najważniejszym narzędziem inwestycyjnym państw RWPZ, jak również pionierami wśród tego typu instytucji i na chwilę obecną odgrywają kluczową rolę na światowym rynku PFM.

A. Mishrif i E. Akkas (2016) przypisują bardzo ważne znaczenie PFM w inwestowaniu w kluczowe sektory gospodarki, takie jak: infrastruktura, finanse, bankowość, technologia, transport, telekomunikacja, edukacja, budownictwo i nieruchomości. Fundusze zainwestowały w duże projekty infrastrukturalne

w swoich krajach, mając jednocześnie zdolność do tworzenia międzyrządowego i międzynarodowego kapitału w celu dywersyfikacji ich gospodarek na poziomie krajowym, regionalnym i globalnym. Dane pokazują, że inwestycje PFM państw RWZP w nieruchomości znacznie wzrosły – z 1,1 mld USD w 2005 r. do 12 mld USD w 2014 r. Gwałtowny spadek cen ropy pod koniec 2014 r. wpłynął negatywnie na sektor nieruchomości, który doświadczył znacznego zmniejszenia inwestycji PFM prawie o połowę – do 6,6 mld USD w 2015 r. Należy również dodać, że ponad jedna trzecia państwowych funduszy majątkowych na świecie pozostaje w rękach państw RWZP (tabela 2.3).

**Tabela 2.3.** Państwowe fundusze majątkowe państw Rady Współpracy Zatoki Perskiej w 2017 r.

Kraj	PFM	Wartość w bln USD	Suma
ZEA	Abu Dhabi Investment Authority	792	1246,8
	Investment Corporation of Dubai	196	
	Mubadala Investment Company	66,3	
	Emirates Investment Authority	15	
	Ras Al.-Khaimah Investment Authority	1,2	
	Abu Dhabi Investment Council	110	
	Int.Petroleum Investment Company	66,3	
Arabia Saudyjska	SAMA Foreign Holdings	598,4	758,4
	Public Investment Fund	160	
Kuwejt	Kuwait Investment Authority	592	592
Katar	Qatar Investment Authority	335	335
Oman	Oman State General Reserve Fund	34	40
	Oman Investment Fund	6	
Bahrajn	Mumtalakat Holding	10,6	10,6

Źródło: Instytut SWF, [www.swfinstitute.org](http://www.swfinstitute.org) (dostęp: 15.05.2019).

Istnieje wiele powodów, dla których dywersyfikacja jest koniecznością, a nie opcją w państwach RWZP. Przy obecnym stanie rozwoju gospodarek tych krajów pojawia się zagrożenie wystąpienia tzw. choroby holenderskiej, czyli jednokierunkowego rozwoju gospodarczego spowodowanego

odkryciem i intensywną eksploatacją złóż surowców naturalnych. Olbrzymi napływ środków nie zdołał przyczynić się istotnie do spójnego, wielotorowego rozwoju gospodarczego państw RWZP. Doprowadził on do regresu i upośledzenia innych sektorów, niezwiązanych z sektorem wydobywczym. W pierwszej kolejności ofiarą tzw. klątwy surowcowej padły te działy gospodarki, które w dużym stopniu opierały się na pracy jako czynnika produkcji. Nastąpiło wytracenie rentowności sektorów pracochłonnych. Równocześnie zwiększała się atrakcyjność importu, co skutkowało przekierowaniem konsumpcji na dobra importowane. Zjawisko to doprowadziło do negatywnych konsekwencji dla krajowych producentów, których i tak słaba pozycja na rynku była jeszcze dodatkowo marginalizowana. Innym negatywnym zjawiskiem było obniżenie standardów edukacyjnych. Lokalne uczelnie skupiały się na inżynierskich studiach petrochemicznych, kształcących specjalistów do obsługi sektora wydobywczego, a wszechstronny rozwój zasobów ludzkich zaniedbano. Napływ petrodolarów doprowadził do olbrzymiego wzrostu płac, jak też do rozpoczęcia subsydiowania miejsc pracy w sektorze publicznym. Wzrost wynagrodzeń był jednak w znikomym stopniu powiązany ze wzrostem kwalifikacji czy wydajności pracy.

A. Łukaszewicz (2015) zauważa, że: „O ile w krótkim okresie oparcie rozwoju na dochodach z ropy i gazu prowadziło do dynamicznego wzrostu bogactwa państw i jednostek, o tyle na przełomie lat 80. i 90. XX w. uzależnienie to stało się bardzo szkodliwe, doprowadzając państwa naftowe do zastoju gospodarczego, utrwalenia monokultury, zależności od bieżącej koniunktury na rynkach światowych (poprzez cenę surowców energetycznych) i rozlicznych negatywnych konsekwencji natury społecznej” (Łukaszewicz 2015, s. 92).

Ważnym powodem dywersyfikacji jest fakt, że popyt na paliwa kopalne maleje, a postęp technologii w dziedzinie energii odnawialnej i rosnące obawy dotyczące ochrony środowiska sprawiają, że celem rozwoju gospodarczego i cywilizacyjnego świata jest pozyskanie alternatywnych źródeł energii. Należy dodać, że surowce energetyczne są przecież wyczerpywalne.

Pilna potrzeba dywersyfikacji gospodarek Zatoki Perskiej nie wynika tylko z powyższych czynników. Kraje RWPZ stoją w obliczu ogromnych politycznych, gospodarczych, demograficznych, społecznych i środowiskowych wyzwań, które wpływają bezpośrednio i pośrednio na ich zrównoważoną gospodarkę. Pod względem ekonomicznym sektory niewęglowodorowe pozostają słabe i uzależnione od dochodów z eksportu ropy naftowej, a co za tym idzie – od cen ropy na rynku światowym. Na przykład prywatne przedsiębiorstwa są silnie uzależnione od sektora publicznego i wydatków rządowych. Jest to widoczne na przykładzie takich branż, jak: produkcja, petrochemia, odsalanie wody czy lotnictwo. Niskie koszty energii i skuteczne dotacje rządowe mają olbrzymi wpływ

na utrzymanie ich globalnej konkurencyjności. Usługi bankowe i finansowe są uzależnione od przepływu środków pochodzących ze sprzedaży surowców energetycznych. Każda zmiana w tym sektorze ma ogromny wpływ na wszystkie sektory gospodarki państw RWZP.

Jeżeli chodzi o wymiar polityczny, zmiany na rynkach energii mogą powodować częste wstrząsy w krajach RWZP. Skutki tych wahań mogą być uciążliwe dla bardziej zaludnionych i mniej zamożnych krajów, takich jak Bahrajn, Oman i Arabia Saudyjska. Są one mniej przygotowane niż Katar, Zjednoczone Emiraty Arabskie i Kuwejt, jeżeli chodzi o odczuwanie negatywnych skutków spadku przychodów z ropy naftowej. Od 2011 r. wspomniane kraje doświadczały trudności w radzeniu sobie z powstałymi zakłóceniami i zareagowały, równoważąc zmniejszone budżety z potrzebą wzmocnienia ich politycznej siły, poprzez ekonomiczne korzyści dla ludności. Na przykład w 2011 r. rząd Arabii Saudyjskiej zapewnił dotacje w wysokości 136 mld USD na wsparcie mieszkalnictwa i zatrudnienia, szczególnie dla młodego pokolenia.

Kraje Zatoki Perskiej kładą nacisk na potrzebę dywersyfikacji ekonomicznej w planowaniu rozwoju gospodarczego. Wizje i plany dotyczące przyszłości podkreślają cele i aspiracje rządów RWZP w odniesieniu do rozwoju gospodarczego i społecznego. Stawiają one na cztery kluczowe elementy: rozwój ludzki, społeczny, gospodarczy i środowiskowy. Niektóre z tych planów, jak plan rozwoju Bahrajnu 2030, postrzega sektor prywatny jako siłę napędową, podczas gdy inne państwa, np. Zjednoczone Emiraty Arabskie, zwracają uwagę na ważną rolę sektora publicznego w procesie rozwoju.

**Tabela 2.4.** Udział surowców energetycznych w PKB i eksporcie państw RWZP

Kraj	Udział % sektora górnictwo i wydobywanie w PKB			Udział % surowców energetycznych w eksporcie		
	2000 r.	2010 r.	2017 r.	2000 r.	2010 r.	2017 r.
Oman	50%	48%	30%	83%	67%	66%
Bahrajn	25%	22%	13%	72%	71%	47%
Katar	60%	32%	32%	89%	90%	81%
Kuwejt	48%	56%	42%	93%	92%	90%
Zjednoczone Emiraty Arabskie	29%	31%	22%	76%	37%	15%

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych krajów RWPZ, <http://dp.gcstat.org> (dostęp: 20.05.2019).

### STRATEGIA DYWERSYFIKACJI OMANU

Strategia *Oman Vision 2020* została zaprojektowana i ogłoszona w 1995 r. W latach 1996–2020 podkreślono ograniczone zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego na tym terenie, a zatem zawodność tych surowców jako głównego źródła dochodu w dłuższej perspektywie. Strategia dywersyfikacji Omanu ma na celu przeprowadzenie zmian strukturalnych w tym regionie poprzez dywersyfikację bazy produkcyjnej, zwiększającej rolę sektora prywatnego w gospodarce i rozwój zasobów ludzkich. Oznacza to, że kraj musiał rozpocząć liberalizację oraz ekspansję sektorów niewęglowodorowych i umożliwić wzrost nowych gałęzi przemysłu. Strategia ma na celu rozszerzenie kluczowych sektorów, takich jak: usługi, turystyka, górnictwo, rolnictwo i rybołówstwo, aby zmniejszyć udział sektora naftowego do zaledwie 9% PKB do 2020 r. Szczegóły dotyczące tego, jak można to osiągnąć, zostały przedstawione w pięcioletnich planach gospodarczych, takich jak: siódmy plan pięcioletni (1996–2011), ósmy plan pięcioletni (2011–2016) i dziewiąty plan pięcioletni (2017–2021). Zarówno wizja, jak i trzy ostatnie plany koncentrowały się na trzech głównych obszarach rozwoju. Pierwszym obszarem jest rozwój infrastruktury przez: budowę lotnisk, dróg, portów morskich i mieszkań. Drugi obszar wspiera rozwój sektora prywatnego, w szczególności małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP). Uważa się, że sektor prywatny jest bardziej zdolny do przyciągania międzynarodowych inwestycji i tworzenia miejsc pracy, jak również wzmocnienia jakości i konkurencyjności siły roboczej Omanu. Trzeci obszar obejmuje poprawę środowiska gospodarczego. Oman wprowadził rozszerzone programy reform gospodarczych, w szczególności liberalizację środowiska inwestycyjnego, w tym przepisy dotyczące inwestycji i konkurencji. Pomimo swojej pionierskiej pozycji i drugiego miejsca w rankingu na najbardziej zróżnicowaną gospodarkę wśród krajów RWPZ Oman jest silnie uzależniony od sektora węglowodorów. Ropa naftowa stanowiła 30% PKB i 66% dochodów z eksportu w 2017 r. Wizja 2040, która jest obecnie rozwijana przez Najwyższą Radę Rozwoju, koncentruje się na rozwiązaniu problemów dotyczących dywersyfikacji ekonomicznej.

### STRATEGIA DYWERSYFIKACJI BAHRAJNU

Bahrajn ma sytuację podobną jak Oman, jeśli chodzi o zależność od paliw kopalnych w rozwoju gospodarczym. Ropa naftowa stanowiła w 2017 r. 47% przychodów z eksportu i tylko 13% PKB Bahrajnu. Kraj wprowadził swoją wizję w 2000 r., a w 2009 r. powstał bardziej szczegółowy program – *National Economic Strategy*. Wizja ta ma na celu zmianę gospodarki uzależnionej od ropy naftowej na „produktywną, konkurencyjną na poziomie światowym, ukształtowaną przez rząd i napędzaną przez pionierski sektor prywatny gospodarke” (Bahrain Economic Development Board 2008). Plan ten zakłada również stworzenie wystarczająco dużo nowych miejsc pracy dla rosnącej populacji i podwojenie dochodu *per capita* do 2030 r. Strategia jest ambitna i stawia rozwój kapitału ludzkiego na pierwszym miejscu. Oczekuje się, że stanie się to dzięki przyciąganiu zagranicznych inwestycji, które mogłyby zapewnić miejsca pracy oraz dostarczyć wiedzę na wysokim poziomie, a co za tym idzie – wysokie płace. Strategia dywersyfikacji koncentruje się na trzech głównych obszarach rozwoju. Pierwszym jest rozwój sektora prywatnego poprzez promowanie przedsiębiorczości i wspieranie innowacji oraz tworzenie krajowego systemu innowacji. Ponadto rząd wspiera przemysł kreatywny i tworzenie przedsiębiorstw

opartych na wiedzy, w szczególności sektor zaawansowanych technologii. Drugim obszarem rozwoju jest zwrot kraju w kierunku globalnego centrum finansowego. Usługi finansowe są głównym sektorem, ze znaczną liczbą krajowych i międzynarodowych banków oraz firm świadczących usługi finansowe, działających w kraju od lat 70. XX w. Innymi ważnymi sektorami gospodarki są: turystyka, usługi, logistyka i produkcja, szczególnie przemysł aluminiowy (np. huta aluminium Alba). Wszystko to przyczynia się do rozwoju zróżnicowanej gospodarki Bahrajnu, gdzie usługi i przemysł już w 2000 r. stanowiły ok. 50% PKB (Tenreyro 2010). Trzecim obszarem jest rozwój zasobów ludzkich, w którym edukacja odgrywa znaczącą rolę w budowaniu społeczeństwa opartego na wiedzy. Inwestycje w szkolnictwo podstawowe, średnie i wyższe oraz szkolenia są niezbędne do poprawy jakości krajowej siły roboczej i zwiększenia jej zatrudnienia w sektorze prywatnym.

### STRATEGIA DYWERSYFIKACJI KATARU

Katar ogłosił swoją narodową wizję 2030 w 2008 r., a następnie „Katarską strategię rozwoju kraju 2011–2016”, która zawierała szczegółowy opis wydatków i realizacji planów gospodarczych. Tempo planowania rozwoju gospodarczego i jego wdrażanie jest znacznie szybsze niż w innych państwach członkowskich RWZP, z powodu zaangażowania kraju w organizację Mistrzostw Świata w Piłce Nożnej w 2022 r. W przeciwieństwie do Omanu i Bahrajnu Katar jest mniej entuzjastycznie nastawiony do dywersyfikacji gospodarczej ze względu na posiadane ogromne rezerwy ropy i gazu. Szacuje się, że kraj ma największe rezerwy gazu na świecie, wystarczające, aby utrzymać produkcję ropy naftowej przez następnych 45 lat (Hvidt 2013). To sprawia, że wykorzystanie zasobów węglowodorów jest kluczowe dla przyszłego rozwoju gospodarczego i dywersyfikacji. Jednak wizja jest ambitna i ma na celu przekształcenie Kataru w nowoczesne państwo do 2030 r., zdolne do zapewnienia wysokiego standardu życia dla przyszłych pokoleń. Ma również na celu stworzenie gospodarki opartej na wiedzy w taki sposób, aby kraj stał się regionalnym centrum wiedzy. Aby to osiągnąć, kraj zamierza wspierać prywatne przedsiębiorstwa, promować przedsiębiorczość, udoskonalać ośrodki innowacji, przeprowadzić reformy rynku pracy i wzmocnić regionalną integrację. Postęp w tych obszarach był do tej pory powolny, mimo że Katar wydał ok. 5% swojego PKB na edukację w ciągu ostatnich pięciu lat i zbudował Miasto Edukacji, z dużą liczbą zagranicznych uczelni i uniwersytetów, ułatwiające młodym ludziom transfer umiejętności i wiedzy. Hvidt (2013) wskazuje czynniki, które mogą również wyjaśnij powolne tempo dywersyfikacji. Przede wszystkim są to małe rozmiary gospodarki i jej baza konsumentów, a także niskie wynagrodzenie w sektorze prywatnym w porównaniu z sektorem publicznym, które zniechęcają pełnoletnich obywateli do poszukiwania zatrudnienia w sektorze prywatnym. Dane potwierdzają, że tylko 0,3% obywateli pracuje w sektorze prywatnym, podczas gdy odsetek wszystkich obywateli pracujących nie przekracza 6% (Sekretariat Generalny ds. Planowania Rozwoju 2017). To sprawia, że perspektywa rozwoju kompetentnej krajowej siły roboczej, zdolnej do wzmocnienia sektora prywatnego i zwiększenia jego roli w rozwoju gospodarczym, jest ograniczona.



### STRATEGIA DYWERSYFIKACJI KUWEJTU

Kuwejt jest krajem RWZP najbardziej zależnym od ropy naftowej, gdzie ropa stanowi 90% przychodów z eksportu i 42% PKB w 2017 r. W 2010 r. ogłoszono „Wizję Kuwejtu 2030”, mającą na celu przekształcenie kraju w regionalne centrum handlu i finansów poprzez dywersyfikację i rozwój gospodarczy. Zatwierdzono następnie pierwszy plan rozwoju (2010–2014), w którym rząd zobowiązał się wydać 125 mld USD na jego realizację. Znaczące inwestycje poczyniono w dużych projektach infrastrukturalnych, takich jak Silk City w Subiyah, głębinowy port kontenerowy w Shatt Al-Arab, nowe systemy kolejowe i metra, a także szkoły i szpitale. Wizja 2030 zakłada większy udział sektora prywatnego w tych projektach, poprzez poniesienie prawie połowy ich całkowitych kosztów. Planowano również stworzenie dobrze rozwiniętej infrastruktury, która może przyciągnąć inwestycje krajowe i zagraniczne. Kuwejt ma najmniej zróżnicowaną gospodarkę w regionie RWZP, głównie ze względu na równowagę budżetową i stały spór między władzą ustawodawczą (parlament) i wykonawczą (rząd), które uniemożliwiają proces podejmowania decyzji od wielu lat (Hvidt 2013). Może brakować konsensusu politycznego w sprawie kierunku rozwoju, ale na ten proces wpływają psychologiczne i fizyczne zniszczenia spowodowane przez pierwszą i drugą wojnę w Zatoce Perskiej (1980–1988, 1990–1991). Zagrożenia polityczne i bezpieczeństwa są czynnikami najbardziej zniechęcającymi do inwestycji prywatnych i zagranicznych w Kuwejcie. Kraj koncentruje się obecnie na rozwijaniu niematerialnej infrastruktury, takiej jak zarządzanie, praworządność i przejrzystość w sektorze publicznym, z naciskiem na rozwój kapitału ludzkiego i możliwości administracyjnych.

### STRATEGIA DYWERSYFIKACJI ZJEDNOCZONYCH EMIRATÓW ARABSKICH

Zjednoczone Emiraty Arabskie (ZEA) ogłosiły „Wizję 2021” w 2010 r. Ma ona na celu podtrzymanie dążenia kraju do dywersyfikacji gospodarczej, ponieważ jest to najpewniejsza droga narodu do zrównoważonego rozwoju w przyszłości, który będzie mniej zależny od surowców energetycznych. Oznacza to rozwój nowych sektorów strategicznych, przemysłu i usług, na których można zbudować długoterminową przewagę konkurencyjną. Celem tej strategii jest również transformacja od rozwoju gospodarczego opartego na ropie naftowej po rozwój niezwiązanych z ropą naftową nowych sektorów i branż o wysokim wzroście, które są konkurencyjne na rynku światowym. Oznacza to, że wzrost w gospodarce ZEA będzie opierał się na wiedzy i innowacjach, inwestycjach w edukację, badania i rozwój oraz szkolenie zawodowe, na wzmocnieniu regulacji systemów prawnych i ukierunkowaniu na tworzenie sektorów o wysokiej wartości dodanej, aby zwiększyć konkurencyjność kraju. Proces dywersyfikacji w szczególności koncentruje się na rozwoju sektora MŚP i tradycyjnych gałęzi przemysłu wytwórczego, w tym petrochemikaliów, nawozów, tworzyw sztucznych i metali. Znaczące inwestycje zostały również poczynione w branżach zaawansowanych technologii, takich jak odnawialne źródła energii i lotnictwo. Inne sektory udanej dywersyfikacji to nieruchomości, turystyka, opieka zdrowotna, budownictwo i logistyka.

Dywersyfikację ekonomiczną w Zjednoczonych Emiratach Arabskich ułatwiły czynniki polityczne i gospodarcze, przyjazne środowisko dla biznesu, otwartość na handel międzynarodowy i inwestycje, wsparcie polityczne dla działalności gospodarczej oraz atrakcyjność tego kraju dla zagranicznych inwestycji bezpośrednich. Te czynniki uzupełniają model rozwojowy kraju, który jest nadal widoczny w ZEA w formie państwowej przedsiębiorczości i kierowanego przez państwo rozwoju ekonomicznego. Czynniki te przyczyniły się do rozwoju w Dubaju, który okazał się modelem efektywnej dywersyfikacji gospodarczej. Co zaskakujące, „Wizja 2021” prezentuje uderzający kontrast między przydzieleniem ograniczonej roli sektorowi prywatnemu w rozwoju gospodarczym i zwierzchnictwem państwa jako głównego aktora i siły napędowej planowania gospodarczego i rozwoju w czasie, gdy kraj twierdzi, że działa w zglobalizowanej gospodarce rynkowej. M. Hvidt (2013) określił ten specyficzny model ekonomiczny „dywersyfikacją bez prywatyzacji”, czyli jest to model, w którym czynnikiem napędzającym jest rynek, oparty na własności publicznej. Skuteczność i sukces firm sektora publicznego, takich jak Mubadala Development Corporation, która tworzy lub kupuje przedsiębiorstwa i działa na warunkach rynkowych, podniosła je do poziomu, na którym stały się one liderami w rozwoju społeczeństwa ZEA.

### STRATEGIA DYWERSYFIKACJI ARABII SAUDYJSKIEJ

Arabia Saudyjska rozpoczęła strategię dywersyfikacji niedawno. Strategia długoterminowa (2004–2024) wskazywała między innymi, że do 2024 r. królestwo zwiększy rolę produkcji pozarolniczej w gospodarce i zmniejszy udział ropy i gazu w całkowitym eksporcie z 78% do 37%. Początkowa faza dywersyfikacji była utrudniona przez rosnące bezrobocie wśród młodzieży, niski poziom życia i znaczny wzrost ubóstwa wśród Saudyjczyków spowodowany głównie spadkiem wzrostu gospodarczego średnio o 4%, który przełożył się na finanse, ograniczenia budżetowe i deficyty budżetowe w tym okresie (Ministerstwo Arabii Saudyjskiej, Gospodarka i planowanie 2010). Nie określono kierunku, w którym sektor prywatny mógłby się rozwijać, pomimo powtarzających się apeli o większą rolę prywatnych przedsiębiorstw w gospodarce.

W 2016 r. Arabia Saudyjska przedstawiła swoją krajową wizję do 2030 r. Ma ona na celu przekształcenie Arabii Saudyjskiej w globalną potęgę inwestycyjną. W odniesieniu do gospodarki stwierdza się, że naród ma duże możliwości inwestycyjne, które mogą zostać wykorzystane do stymulowania gospodarki i dywersyfikacji przychodów. Arabia Saudyjska jest zdecydowana wzmocnić i zróżnicować możliwości własnej gospodarki, zmieniając swe kluczowe atuty w narzędzia umożliwiające pełną dywersyfikację w przyszłości. Wizja ta zakłada liczne środki służące do osiągnięcia dywersyfikacji gospodarczej:

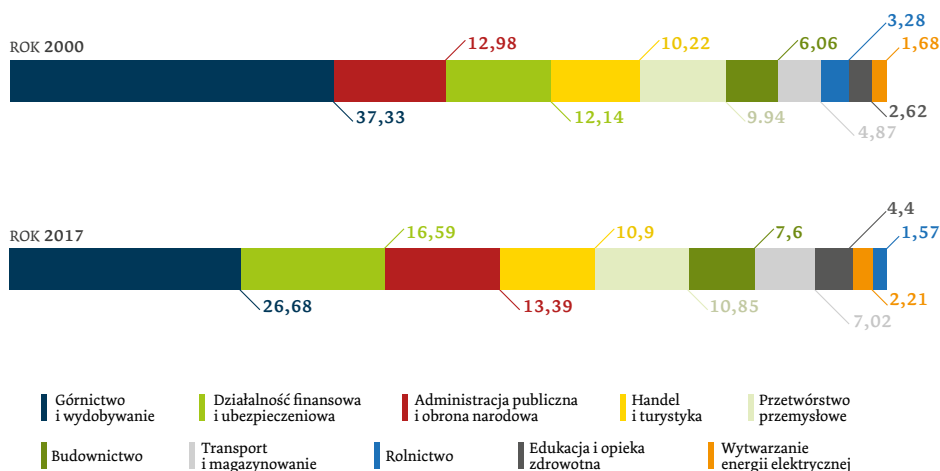
- 1) przekształcenie Aramco z firmy produkującej ropę w globalny konglomerat przemysłowy, rozszerzający swoją działalność poza sektor ropy i gazu;
- 2) przekształcenie Funduszu Inwestycji Publicznych w największy na świecie państwowy fundusz majątkowy, co zwiększy swoje aktywa z 600 mld SAR do ponad 7 bln SAR;
- 3) zachęcanie saudyjskich firm do przekształcenia się w międzynarodowe korporacje przez ekspansję ponad granicami i działania na rynkach światowych;
- 4) rozwój sektora wytwórczego, zwłaszcza w dziedzinie uzbrojenia oraz produkcji sprzętu wojskowego, maszyn i oprogramowania;

- 5) ulepszenie systemu administracyjnego poprzez rozszerzenie różnorodności usług cyfrowych w celu zmniejszenia opóźnień i ograniczeń wynikających z biurokracji;
- 6) poprawa środowiska biznesowego.

W odniesieniu do kluczowych czynników rozwoju gospodarczego i dywersyfikacji ekonomicznej „Wizja 2030” zakłada wzmocnienie sektora publicznego poprzez restrukturyzację agencji rządowych oraz rozszerzenie sektora prywatnego przez kompleksową prywatyzację. Strategia ma na celu przesunięcie roli rządu z dostarczania usług na ich regulację i monitorowanie. Równocześnie stara się ona zwiększyć wkład sektora prywatnego, który obecnie wynosi mniej niż 40% PKB, wzmocnić niektóre usługi rządowe i otworzyć nowe sektory gospodarki, takie jak opieka zdrowotna, edukacja, energia, mieszkalnictwo, usługi komunalne, inwestycje prywatne i zagraniczne. Wizja podkreśla zaangażowanie królestwa w zapewnienie lepszych możliwości partnerstwa z sektorem prywatnym w ramach trzech filarów: pozycji kraju jako serca arabskiego i islamskiego świata, największych możliwości inwestycyjnych i strategicznego położenia geograficznego (Rada Gospodarcza i Rozwoju Sprawy 2016).

W wyniku procesu dywersyfikacji udział sektorów niezwiązanych z sektorem surowców energetycznych wzrósł o 11 punktów proc. w PKB gospodarek RWZP od 2000 r., jednak postęp w kierunku dywersyfikacji nadal jest niewielki. Najbardziej rozwinął się sektor związany z działalnością finansową i ubezpieczeniową. Jego udział w PKB wzrósł o 4 punkty proc., natomiast w pozostałych sektorach zauważalny jest wzrost o 1 lub 2 punkty proc. (rys. 2.15).

**Rysunek 2.15.** Zmiana profilu produkcji



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych krajów RWPZ, <http://dp.gcstat.org> (dostęp: 20.05.2019).

Silny wzrost cen ropy naftowej w latach 2011–2013 spowodował utworzenie ok. 7 mln miejsc pracy, z czego 5,4 mln pochodziło z sektora prywatnego. Mimo to w sektorze prywatnym powstała bardzo mała liczba atrakcyjnych miejsc pracy i niewiele możliwości dla obywateli. Około 88% miejsc pracy w tym sektorze zajęli zagraniczni pracownicy (ok. 85% z nich stanowiły osoby o niskich kwalifikacjach). Obywatele w sektorze prywatnym są zatrudniani na wysoko płatnych stanowiskach (np. w usługach finansowych) lub na stanowiskach nadzorczych w takich branżach, jak budownictwo, handel czy transport. Postępuje dywersyfikacja eksportu towarów innych niż ropa naftowa – od 2000 do 2017 r. całkowity eksport pozapaliwowy (towar i usługi) wzrósł średnio z 16 do 30 punktów proc. w państwach RWZP.

Gospodarka oparta na ropie naftowej i paliwach kopalnych ukształtowała szczególnie porządek ekonomiczny i polityczny na świecie. Wywarła wpływ na ład społeczny i środowisko naturalne. Przyczyniła się do postępu, ale także do degradacji ekosystemu, narastających nierówności społecznych, konfliktów politycznych i zbrojnych oraz na dłuższą metę niebezpiecznego uzależnienia gospodarek krajów naftowych od tego surowca. Choć współcześnie trudno sobie wyobrazić gospodarkę napędzaną energią w całości pochodzącą ze źródeł innych niż paliwa kopalne, przykład krajów Zatoki, na razie z różną skutecznością, wdrażających dywersyfikację gospodarczą, dowodzi konieczności myślenia o przyszłości opartej na czystych źródłach energii. Nie tylko ze względu na ograniczoną ilość surowca, bezpieczeństwo ekonomiczne producentów ropy naftowej, ale przede wszystkim środowiskowe i społeczne skutki takiego modelu gospodarowania.

## Literatura

- Amar J., Carpentier J.F., Lecourt C. (2018), *GCC Sovereign Wealth Funds: Why Do They Take Control?* fhalshs-01936882f.
- Armentano, D. T. (1981), *The Petroleum Industry: A Historical Study in Power*, „Cato Journal”, v. 1, n. 1, s. 80–81.
- Bell M.L., Davis D.L., Fletcher T. (2004), *A Retrospective Assessment of Mortality from the London Smog Episode of 1952: The Role of Influenza and Pollution*, „Environmental Health Perspectives”, vol. 112(1).
- BP Statistical Review of World Energy* (2018), 67th edition, June.
- Cohen A.L., Holcomb M. (2009), *Why Corals Care about Ocean Acidification: Uncovering the Mechanism*, „Oceanography”, vol. 22(4).
- Colborn T., Kwiatkowski C., Schultz K., Bachran M. (2011), *Natural Gas Operations from a Public Health Perspective*, „Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal”, vol. 17(5).

- Covi G. (2015), *Puzzling Out The First Oil Shock: History, Politics and the Macroeconomy in a Forty-Year Retrospective*, „History of Economic Thought and Policy”, vol. 2, s. 3–2.
- Doney S.C., Fabry V.J., Feely R.A., Kleypas J.A. (2009), *Ocean Acidification: The Other CO<sub>2</sub> Problem*, „Annual Review of Marine Science”, vol. 1.
- El Kharouf F., Al-Qudsi S., Obeid S. (2010), *The Gulf Cooperation Council Sovereign Wealth Funds: Are They Instruments for Economic Diversification or Political Tools?*, „Asian Economic Paper”, vol. 9(1).
- Energy Information Administration (2017), *International Energy Outlook*.
- EPA, Environmental Protection Agency (2015a), *Abandoned mine Drainage*, Washington DC, [www.epa.gov/polluted-runoff-nonpoint-source-pollution/abandoned-mine-drainage](http://www.epa.gov/polluted-runoff-nonpoint-source-pollution/abandoned-mine-drainage) (dostęp: 17.06.2019).
- EPA, Environmental Protection Agency (2015b), *Tenorm: Oil and Gas Production Wastes*, Washington DC, [www.epa.gov/radiation/tenorm-oil-and-gas-production-wastes](http://www.epa.gov/radiation/tenorm-oil-and-gas-production-wastes) (dostęp: 17.06.2019).
- Epstain P.R., Buonocore J.J., Eckerle K., Hendryx M., Stout III B.M., Heinberg R., Clapp R.W., May B., Reinhart N.L., Ahern M.M., Doshi S.K., Glustorm L. (2011), *Full Cost Accounting for the Life Cycle of Coal*, „Ecological Economics Review”, vol. 1219.
- Eurostat (2019), *GDP and Main Components (Output, Expenditure and Income)* [nama\_10\_gdp], Last update: 21.09.2019 (dostęp: 8.07.2019).
- Fogel R. (1999), *Catching up with the Economy*, „The American Economic Review”, vol. 89(1).
- Fortune.com, *Fortune Global 500 List 2018: See Who Made It*, <https://fortune.com/global500/2018/search> (dostęp: 15.05.2019).
- Geise A. (2015), *Wpływ cen ropy naftowej na produkcję i inflację w wybranych państwach Unii Europejskiej*, *Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, t. XVI, nr 3.
- Goodfriend M., King R. G. (2005), *The incredible Volcker disinflation*, „Journal of Monetary Economics” vol. 52, s. 981–1015.
- Gyagri M., Amarfo E. M., Marfo S. A. (2017), *Determinants of Global Pricing of Crude Oil- A Theoretical Review*, „International Journal of Petroleum and Petrochemical Engineering”, vol. 3 (3), s. 7–15.
- Hamilton J.D. (2011), *Nonlinearities and Macroeconomic Effects of Oil Prices*, „Macroeconomic Dynamics”, nr 15.
- Hassan, Aminu, (2013), *Review of the Global Oil And Gas Industry: A Concise Journey From Ancient Time to Modern World*, „Petroleum Technology Development Journal”, 3, s. 123–141.
- Holzman D.C. (2011), *Mountaintop Removal Mining: Digging into Community Health Concerns*, „Environmental Health Perspectives”, vol. 119(11).
- Hvidt M. (2013), *Economic Diversification in Gulf Cooperation Council (GCC) Countries: Past Record and Future Trends*, *Kuwait Programme on Development, Governance and Globalisation in the Gulf States*, London School of Economics and Political Science, No. 27.

- IRENA International Renewable Energy Agency (2016), *The True Cost of Fossil Fuels: Saving on the Externalities of Air Pollution and Climate Change*.
- Kirchhof A. M., Trischler H. (2018), *History of Nuclear Energy and Society*, „Federal Republic of Germany – Short Country Report”.
- Kollias Ch., Kyrtsoy C., Papadamou S. (2011), *The Effects of Terrorism and War on the Oil and Prices – Stock Indices Relationship*, „Economics of Security Working Paper”, vol. 57, s. 25–26.
- Le Quéré C. et al. (2018), *Global Carbon Project*, Carbon Dioxide Information Analysis Centre.
- Łukaszewicz A. (2015), *Ewolucja systemów społeczno-ekonomicznych monarchii naftowych Zatoki Perskiej. Studium przypadku państw rentierskich*, Wydział Dziennikarstwa i Nauk Politycznych, Uniwersytet Warszawski.
- Ministry of Economy and Planning, *National Transformation Program* (online) <https://www.mep.gov.sa/en/Pages/error.aspx?requestUrl=https://www.mep.gov.sa/en/national-transformation-program>, (dostęp: 23.04.2019).
- Mishrif A., Akkas E. (2016), Gulf sovereign wealth funds and their impact on the development of Islamic finance and banking. Brief report on the ninth development plan 2010–2014. Riyadh, Ministry of Economy and Planning, Saudi Arabia.
- Murray J.F. (2015), *The Industrial Revolution and the Decline in Death Rates from Tuberculosis*, „INTERNATIONAL JOURNAL OF TUBERCULOSIS AND LUNG DISEASE”, vol. 19(5).
- Myhre G., Shindell D., Bréon F.M., Collins W., Fuglestedt J., Huang J., Koch D., Lamarque J.F., Lee D., Mendoza B., Nakajima T., Robock A., Stephens G.N., Takemura T., Zhang H. (2013), *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, USA.
- Niele F. (2005), *Energy: Engine of Evolution*, Elsevier Science.
- Oil Tanker Spill Statistics 2018* (2019), <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics> (dostęp: 18.08.2019).
- Olson C., Lenzmann F. (2016), *The Social and Economic Consequences of the Fossil Fuel Supply Chain*, „MRS Energy and Sustainability: A Review Journal”.
- Riley J.C. (2005), *Estimates of Regional and Global Life Expectancy, 1800–2001*, „Population and Development Review”, vol. 31(3).
- Sieferle R.P. (2001), *The Subterranean Forest*, TheWhite Horses Press, Cambridge.
- Smil V. (2017), *Energy Transitions Global and National Perspectives*, Praeger, Santa Barbara.
- Winkelmann R., Levermann A., Ridgwell A., Caldeira K. (2015), *Combustion of available fossil fuel resources sufficient to eliminate the Antarctic Ice Sheet*, „Sciences Advances”, vol. 1(8).
- World Bank, [data.worldbank.org](http://data.worldbank.org), (dostęp: 15.05.2019).

# BIOGOSPODARKA JAKO STRATEGIA ROZWOJU UNII EUROPEJSKIEJ

## 3.1. Polityka Unii Europejskiej w zakresie biogospodarki

Komisja Europejska od wielu dekad pracuje nad zapewnieniem spójnego podejścia krajów członkowskich do wsparcia rozwoju biogospodarki za pomocą różnych programów i instrumentów, w tym wspólnej polityki rolnej, wspólnej polityki rybołówstwa, programu „Horyzont 2020”, europejskich inicjatyw środowiskowych, inicjatywy „niebieskiego wzrostu” dla sektora morskiego, europejskiego partnerstwa innowacyjnego na rzecz zrównoważonego rozwoju rolnictwa i wielu innych. Pierwsze wzmianki o konieczności wsparcia i rozwoju biogospodarki pochodzą z programów strategicznych Komisji Europejskiej, publikowanych w latach 90. ubiegłego wieku. W 1993 r. rozpoczęto prace nad białą księgą *Growth, Competitiveness, Employment. The Challenges and Ways Forward into the 21st Century*, w której podkreślono potrzebę inwestycji ukierunkowanych na aprecjacje wiedzy oraz znaczenie biotechnologii w innowacjach i wzroście. W szczególności zwrócono uwagę na jeden z kluczowych aspektów poszerzania spektrum badań wspólnotowych, jakim powinna być ściślejsza współpraca w celu wdrożenia dużych programów odzwierciedlających największe światowe potrzeby w zakresie energii, globalnych zmian i żywności. Potrzeby zmian i rozwoju zostały określone dla trzech obszarów, a mianowicie dla środowiska, zdrowia i mediów (European Commission 1994, s. 101–118). Działania w obrębie środowiska i zdrowia bezpośrednio wiązałyby się z tworzeniem podstaw biogospodarki. Sześć lat po ukazaniu się białej książki uchwalono na szczycie Rady Europejskiej w Lizbonie 10-letni program rozwoju Unii Europejskiej, nazwany „strategią lizbońską”. Efektem miało być zmniejszenie dysproporcji między tempem rozwoju krajów Europy a Stanów Zjednoczonych w trzech wymiarach: gospodarczym, społecznym i ekologicznym (European Commission 2000). Perspektywy rozwoju europejskiej biogospodarki zaprezentowano podczas dwóch pionierskich w tej dziedzinie konferencji w latach 2005 i 2007, które stanowiły

integralną część założeń lizbońskich. Wydarzenia te zainicjowały trwającą do chwili obecnej dyskusję nad kształtem polityki europejskiej w zakresie biogospodarki (European Commission 2005, s. 19).

W niniejszym rozdziale zostały zaprezentowane rozwiązania przyjęte w Unii Europejskiej w zakresie realizacji założeń biogospodarki. Omówiono kwestie polityki UE w zakresie biogospodarki, wskazano działania związane z realizacją strategii na rzecz biogospodarki. W kolejnych punktach dokonano przeglądu strategii dla biogospodarki oraz narzędzi wspierających zielone technologie oraz przedstawiono wybrane przykłady rozwiązań biogospodarczych w krajach Unii Europejskiej.

Po licznych głosach krytycznych, podających w wątpliwość osiągnięcia strategii lizbońskiej, obejmującej lata 2000–2010, w 2011 r. Komisja Europejska przeprowadziła konsultacje społeczne dotyczące biogospodarki. Na podstawie wyników badań sformułowano trzy fundamentalne wnioski (European Commission 2000):

- społeczeństwo przedstawiło w ramach konsultacji optymistyczne spojrzenie na biogospodarkę, widząc w niej szansę na redukcję ilości odpadów, zanieczyszczeń i emisji gazów cieplarnianych do 2020 i 2030 r.;
- znaczna część respondentów dostrzega zagrożenia związane z biogospodarką, wskazując na nadmierną eksploatację zasobów naturalnych oraz negatywny wpływ na bezpieczeństwo żywnościowe;
- istnieją liczne bariery utrudniające rozwój biogospodarki w Europie.

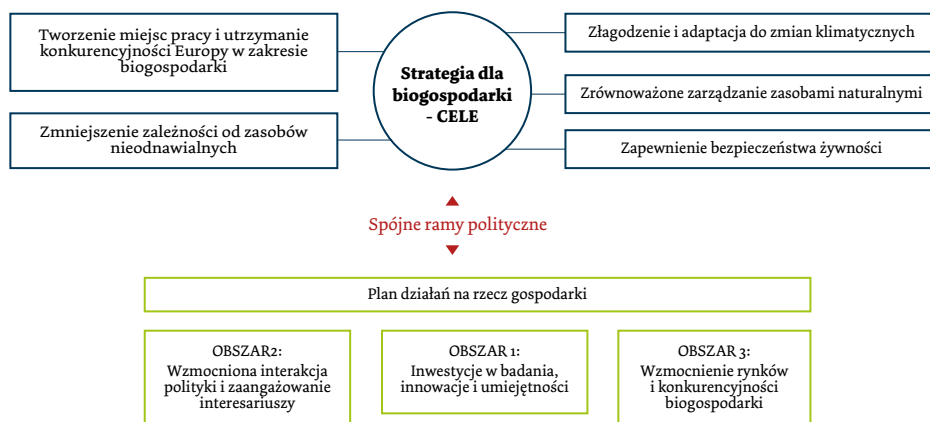
Kluczowym problemem stał się brak spójnej definicji biogospodarki oraz ujednoliconej wiedzy w tym obszarze. Odpowiedzią na problemy wskazane podczas konsultacji publicznych miał być opublikowany na początku 2012 r. dokument łączący strategię i plan działania pt. „Innowacje na rzecz zrównoważonego wzrostu: biogospodarka dla Europy”. Biogospodarkę definiowano jako produkcję odnawialnych zasobów biologicznych, przekształcanie tych zasobów i strumieni odpadów w produkty o wartości dodanej, takie jak: żywność, pasza, produkty biologiczne czy bioenergia. Redefinicja miała na celu modyfikację i wzbogacenie zasobów wiedzy na temat tak rozumianej biogospodarki, zachęcanie do rozwoju badań i innowacji w celu zwiększenia produktywności zasobów naturalnych w zrównoważony sposób oraz wspieranie rozwoju systemów produkcji, które łagodzą i dostosowują się do nich skutki zmian klimatu. Skoncentrowano się na trzech kluczowych aspektach:

- 1) rozwoju nowych technologii i procesów dla biogospodarki,
- 2) rozwoju rynków i konkurencyjności w tym sektorze,
- 3) działaniach zmierzających do ścisłej kooperacji decydentów i interesariuszy.



Biogospodarka odgrywa kluczową rolę w trzech spośród dziesięciu priorytetów ujętych w „Programie na rzecz zatrudnienia, wzrostu, sprawiedliwości i zmian demokratycznych”. Po pierwsze, rozwój sektora zwiększa podaż pracy, szczególnie na rynku lokalnym i regionalnym, obszarach wiejskich i przybrzeżnych. Po drugie, pozytywnie wpływa ona na dywersyfikację źródeł energii, szczególnie pod względem biopaliw czy nowych technologii niskoemisyjnych. W ramach realizacji programu oczekuje się powstania gospodarki obiegu zamkniętego i zasobooszczędnej na obszarze Unii Europejskiej, przy jednoczesnym wzroście udziału przemysłu w tworzeniu PKB do 20%. Co ważne, dokument na rzecz zatrudnienia, wzrostu, sprawiedliwości i zmian demokratycznych zobligował kraje członkowskie do strategicznego, kompleksowego i spójnego podejścia względem złożonych i wzajemnie zależnych wyzwań związanych z europejską biogospodarką. Głównym celem strategii jest ustanowienie fundamentów koncepcji poprzez poszukiwanie synergii i komplementarności w polityce, inicjatywach i sektorach związanych z biogospodarką. Działania zostały podzielone na trzy filary: 1) inwestycje w badania, innowacje i umiejętności, 2) wzmocniona interakcja polityczna i zaangażowanie interesariuszy, 3) wzmocnienie rynków i konkurencyjności w sektorach biogospodarki. Dwanaście głównych działań dotyczyło zwiększenia liczby badań i innowacji międzysektorowych i multidyscyplinarnych, opracowywania norm i etykiet na produkty biologiczne oraz utworzenia obserwatorium biogospodarki, uruchomionego na początku 2013 r., mającego na celu ocenę postępów i wpływu biogospodarki Unii (European Commission 2012, s. 19–36).

**Rysunek 3.1.** Wizualizacja struktury strategii i planu działania w zakresie biogospodarki z 2012 r.



Źródło: European Commission 2017, s. 7–10.

Strategia „Innowacje na rzecz zrównoważonego wzrostu: biogospodarka dla Europy” z 2012 r. została zaktualizowana w 2018 r. pod nazwą: „Zrównoważona biogospodarka dla Europy. Wzmocnienie związku między gospodarką, społeczeństwem i środowiskiem. Zaktualizowana strategia biogospodarki”. Celem aktualizacji było rozwiązanie problemów dotyczących rozwoju biogospodarki poprzez zestaw 14 konkretnych działań, które według założeń miały być wdrażane najpóźniej w 2019 r. Działania te odzwierciedlają wnioski z przeglądu efektów poprzedniej strategii dokonanego w 2017 r. Zaliczono do nich (European Commission 2018, s. 16–18):

- 1) wzmocnienie i zwiększenie skali sektorów opartych na biologii, odblokowanie inwestycji i rynków – między innymi przez: mobilizację podmiotów publicznych i prywatnych do badań, demonstracji i wdrażania zrównoważonych rozwiązań opartych na biotechnologii, uruchomienie platformy inwestycyjnej tematycznej biogospodarki cyrkularnej o wartości 100 mln euro, badanie i analizę czynników sprzyjających i wąskich gardeł oraz zapewnienie dobrowolnych wskazówek dotyczących wdrażania innowacji opartych na biotechnologii, promowanie i opracowywanie standardów oraz zachęt rynkowych, ulepszanie etykiet mających zastosowanie do produktów pochodzenia biologicznego na podstawie wiarygodnych i porównywalnych danych dotyczących wyników środowiskowych i klimatycznych, ułatwienie rozwoju nowych, zrównoważonych biorafinerii oraz potwierdzenie rodzaju i szacowanego potencjału, inwestycje w badania i innowacje na rzecz rozwoju substytutów materiałów opartych na paliwach kopalnych, które są biologiczne, nadają się do recyklingu i ulegają biodegradacji na morzu, oraz metod bioremediacji poprzez mobilizowanie kluczowych podmiotów w odpowiednich łańcuchach wartości;
- 2) szybkie wdrażanie lokalnych biogospodarek w całej Europie, przez: wdrożenie strategicznego programu wdrażania zrównoważonych systemów żywnościowych i rolniczych, leśnictwa i produkcji opartej na biologii w biogospodarce cyrkularnej, wdrożenie działań pilotażowych wspierających rozwój lokalnej biogospodarki (wiejskiej, przybrzeżnej, miejskiej) za pośrednictwem instrumentów i programów Komisji, stworzenie unijnego instrumentu wspierania polityki w zakresie biogospodarki i europejskiego forum biogospodarki dla państw członkowskich, promocję, edukację, szkolenia i rozwijanie umiejętności w ramach biogospodarki;
- 3) zrozumienie ekologicznych granic biogospodarki – przez: zwiększenie wiedzy na temat biogospodarki, w tym na temat bioróżnorodności i ekosystemów, w celu rozmieszczenia go w bezpiecznych granicach ekologicznych i udostępnienia go za pośrednictwem Centrum Wiedzy na rzecz Biogospodarki, zwiększenie możliwości obserwacji, pomiarów, monitorowania

i raportowania oraz zbudowanie ogólnounijnego, spójnego systemu monitorowania w celu śledzenia postępu gospodarczego, środowiskowego i społecznego w kierunku zrównoważonej biogospodarki, zapewnienie wytycznych dotyczących eksploatacji biogospodarki w ramach bezpiecznych limitów ekologicznych, uwzględnienie korzyści ekosystemów bogatych w bioróżnorodność w produkcji podstawowej przez specjalne wsparcie dla agroekologii, rozwój rozwiązań opartych na mikrobiomach oraz nowe narzędzia do integracji zapylaczy w łańcuchach wartości dostaw.

Sektor biogospodarki jest wspierany w ramach licznych programów, między innymi programu „Horyzont 2020”, który określa unijne ramy badań i innowacji na lata 2014–2020, a następnie będzie kontynuowany, gdy zakończy się „Siódmy program ramowy na rzecz badań i rozwoju technologicznego (7PR)”. Programy finansowania badań, zwłaszcza w ramach programu „Horyzont 2020”, przyczyniają się do tworzenia przez Komisję pakietu zatrudnienia, wzrostu i inwestycji. Aby to osiągnąć, wskazano trzy priorytety strategiczne na poziomie europejskim: „Otwarta innowacja”, „Otwarta nauka” i „Otwarty na świat”. Biogospodarka wyraźnie wpisuje się w te trzy strategiczne priorytety, gdyż:

- 1) może pomóc sprostać wielkim wyzwaniom związanym z żywnością i energią, które wymagają otwartego podejścia do innowacji, przy ścisłej współpracy wszystkich zainteresowanych stron;
- 2) jest to nauka otwarta, ponieważ promuje badania w różnych dyscyplinach i granicach;
- 3) jest otwarta na świat, ponieważ promuje badania w Unii i poza jej granicami oraz współpracę w skali globalnej w celu sprostania globalnym wyzwaniom.

Łączna pula środków finansowych na lata 2014–2020 bezpośrednio przeznaczonych na rozwój biogospodarki w ramach programu „Horyzont 2020” wyniosła 4,52 mld euro. W okresie 2007–2013 wysokość funduszy dla sektora biogospodarki z siódmego programu ramowego była o połowę mniejsza, stanowiąc kwotę zaledwie 1,9 mld euro. Biorąc pod uwagę inne działania w ramach programu „Horyzont 2020”, które nie są oznaczone jako „biogospodarka” i które pośrednio wspierają rozwój biogospodarki, pula środków finansowych może przekroczyć 7 mld euro. Ponadto unijne finansowanie miało pośredni wpływ na krajowe finansowanie publiczne oraz prywatne. Na każde euro zainwestowane przez KE w obszary istotne dla biogospodarki państwa członkowskie zainwestowały dodatkową kwotę 3,8 euro. Znaczące fundusze prywatne zostały aktywowane za pośrednictwem wspólnego przedsięwzięcia na rzecz bioprzemysłu, przy czym efekt dźwigni wyniósł 2,6 w latach 2014–2016, natomiast do 2024 r. spodziewany efekt dźwigni ma wynieść 2,8. Rola partnerstwa

publiczno-prywatnego bioprzemysłu jest kluczowa we wspieraniu rozwoju europejskiej infrastruktury biogospodarczej. W ramach wspólnego przedsięwzięcia na rzecz bioprzemysłu uruchomiono już 6 flagowych projektów dotyczących biorafinerii na łączny wkład blisko 160 mln euro. Liczba ta wzrosła ponaddwukrotnie do 2020 r. Podjęto również badania i innowacje na szczeblu UE w celu rozwiązania problemu wykorzystania biomasy i odpadów. Środki UE zostały przeznaczone na projekty badawczo-rozwojowe, obejmujące zarówno biogospodarkę, jak i gospodarkę o obiegu zamkniętym (łącznie ok. 157 mln euro). Przykładem jest projekt ECOALF (*Upcycling the Oceans*), w ramach którego produkowana jest odzież z odpadów morskich, czy projekty dotyczące problemu marnotrawienia żywności i jego kluczowych składników, na które przekazano ok. 74 mln euro. Więcej projektów realizowanych z funduszy programu „Horyzont 2020” przedstawiono w tabeli 3.1.

**Tabela 3.1.** Wybrane projekty realizowane ze środków finansowych pozyskanych z programu „Horyzont 2020” wspierające rozwój biogospodarki

Nazwa projektu	Skrócony opis projektu
EmPowerPutida	Projekt realizowany w latach 2015–2019, miał na celu przeprogramowanie i wzmocnienie możliwości bakterii <i>Pseudomonas putida</i> , tak by zyskały walor gospodarczy i mogły służyć komercyjnemu wykonywaniu biokatalizy na zamówienie.
Miracles	Projekt realizowany w latach 2013–2017 – hodowla mikroalg, które pochłaniają CO <sub>2</sub> , ale stanowią również surowiec do produkcji pasz i suplementów <i>Spirulina</i> i <i>Chlorella</i> oraz mogą generować energię.
Bio-Board	Produkcja opakowań do żywności stworzonych z odpadów żywnościowych. Stworzenie biomateriałów zastępujących powłoki polietylenowe wykonane z mało używanych lub niewykorzystanych produktów ubocznych przemysłu spożywczego, takich jak serwatka z produkcji sera i sok ziemniaczany z produkcji skrobi.
EU-Pearls	Wykorzystanie mniszka lekarskiego i gwajuli jako alternatywnych źródeł do produkcji gumy.
Euphoros	Projekt pomógł zmniejszyć o połowę zapotrzebowanie rolników na energię i dostarczył innowacyjnych rozwiązań w zakresie ograniczenia zużycia wody, składników odżywczych i pestycydów oraz wdrożenia energooszczędnych technologii.
Open-Bio	Projekt realizowany w latach 2013–2016. Został wykorzystany bezpośrednio w procesach normalizacyjnych, dotyczących produktów biologicznych i obejmował terminologię produktów biologicznych, pobieranie próbek, zawartość biologiczną, ocenę cyklu życia oraz wytyczne co do stosowania istniejących norm w odniesieniu do produktów końcowych. Badania końca życia produktów przeprowadzone w ramach projektu „Open-Bio” obejmowały różne scenariusze biodegradacji, kompostowanie i recykling.

Nazwa projektu	Skrócony opis projektu
InnProBio	W latach 2015–2018 projekt miał na celu stworzenie społeczności praktyków zainteresowanych zakupem produktów biologicznych. Wskazówki i narzędzia dla osób zajmujących się zamówieniami publicznymi obejmowały takie kwestie, jak biodegradowalność, a konkretnie dotyczyły roli produktów i usług opartych na biologii w gospodarce o obiegu zamkniętym.
Star4bbi	Projekt finansowany ze wspólnej inicjatywy technologicznej bioprzemysłu, miał na celu promowanie równych warunków działania dla produktów opartych na biologii, przyczyniając się do ustanowienia spójnych i dobrze skoordynowanych ram regulacyjnych. Dotyczyło to w szczególności promowania nowej wartości odpadów organicznych. Działania w ramach tego projektu były prowadzone w latach 2016–2019.
Newfert	Projekt badawczo-innowacyjny, w ramach którego badano możliwość odzyskiwania składników odżywczych z odpadów rolniczych i komunalnych w celu produkcji nawozów.
Prominent (1)	Projekt miał na celu uzyskanie białek do żywności z produktów ubocznych w przemyśle przetwórstwa pszenicy i ryżu.
Greenprotein (1)	W efekcie działań projektowych otrzymano funkcjonalne białka spożywcze i inne składniki z pozostałości po przetwarzaniu warzyw.
Pulp2Value (1)	W ramach tego projektu skonstruowano system biorafinerii do rafinacji pulpy buraka cukrowego, czyli pozostałości przemysłu przetwórczego buraków cukrowych, w produkty o wysokiej wartości, takie jak włókna mikrocelulozowe (MCF), arabinoza i kwas galakturonowy.
Macro Cascade (1)	Projekt badawczo-innowacyjny, mający na celu rozbudowę koncepcji morskiej biorafinerii makroglonów poprzez zastosowanie kaskadowego podejścia, w którym pozostałości z wodorostów wykorzystywane są do produkcji nawozów i bioenergii.
Urbiofin (1)	Projekt miał na celu określenie opłacalności techniczno-ekonomicznej i środowiskowej konwersji w skali półprzemysłowej frakcji organicznej odpadów komunalnych stałych na chemiczne bloki konstrukcyjne, biopolimery i dodatki.
Optisochem (1)	Projekt mający na celu przekształcenie nadmiaru słomy pszennej w pochodne bioizobutenu (bio-IBN), które mogą mieć szeroki zakres zastosowań, między innymi do produkcji smarów, klejów, uszczelniaczy oraz aromatów.
Discardless (2)	Celem projektu była stopniowa eliminacja odrzutów ryb, w tym poprzez badanie najlepszych sposobów wykorzystania nieuniknionych niechcianych połowów ryb.
Ecoprolive (2)	W projekcie zaproponowano nowy proces pozyskiwania oliwy z oliwek bez wytwarzania ścieków lub innych odpadów poprzez pełne przekształcenie cennych składników oliwy w nowe produkty.
Wheycom (2)	Według założeń projekt miał pomóc zmniejszyć ilość odpadów pochodzących z przemysłu serowego, zapewniając alternatywę dla odpadów serwatki jako środka dezynfekującego dla przemysłu owocowo-warzywnego.

Nazwa projektu	Skrócony opis projektu
Resurbis (2)	Celem projektu była integracja w jednym obiekcie i wykorzystanie jednego głównego łańcucha technologicznego do przekształcania kilku rodzajów miejskich bioodpadów w cenne produkty biologiczne, przy jednoczesnym zminimalizowaniu wszelkich odpadów resztkowych.
NoMorFilm	Projekt w obszarze technologii morskich, którego celem było opracowanie nowych biomolekuł pochodzenia morskiego do zastosowania w urządzeniach protetycznych do leczenia infekcji biofilmem, eksploracja nowej dziedziny rozwoju biorafinerii i polikultur, w których nie ma konkurentów (połączenie biotechnologii klinicznej i niebieskiej), poprawa klinicznej skuteczności protezy, jakości życia pacjentów i obniżenia kosztów opieki zdrowotnej oraz interwencji chirurgicznych. Potencjalny rynek nowego antybiotyku skutecznego przeciwko patogenom biofilmu oszacowano na ok. 200–600 mln euro rocznie.
Hipster	Projekt realizowany w sektorze rolnictwa i żywności, którego celem było wdrożenie technologii przetwarzania żywności wysokociśnieniowej i temperaturowej (HPT) na poziomie przemysłowym wraz z demonstracją prototypu na skalę przemysłową.
Bloom	Projekt realizowany w latach 2017–2020 ma za zadanie wspomóc wypracowanie metod i narzędzi popularyzacji idei biogospodarki poprzez stworzenie przestrzeni współpracy i wymiany doświadczeń dla wszystkich podmiotów zaangażowanych na rzecz zrównoważonego rozwoju i budowania społecznej świadomości w obszarze biogospodarki.
BioEcon	Projekt badawczy mający na celu rozwój biogospodarki w Polsce. Jego celem jest rozwój oraz wykorzystanie potencjału badawczego Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowego Instytutu Badawczego dla zmieniających się potrzeb krajowych zgodnie z nowymi trendami zawartymi w globalnych strategiach poprzez stworzenie nowego interdyscyplinarnego i międzynarodowego zespołu badawczego. Wiedza, doświadczenie, wypracowane narzędzia, programy służące mają formacji zespołu, który będzie prowadził badania i wspierał rozwój regionalny zgodnie z zasadami biogospodarki.

Uwaga: przykładowe projekty oznaczone jako (1) pomagały budować gospodarkę o obiegu zamkniętym poprzez wspieranie technologii biorafinacji i (lub) rozwój nowych łańcuchów wartości opartych na odpadach; przykładowe projekty oznaczone jako (2) wspierały budowanie gospodarki o obiegu zamkniętym opartej na odnawialnych zasobach biologicznych.

Źródło: opracowanie własne.

Ogółem zrealizowano ponad 40 projektów w ramach programu „Horyzont 2020” i wspólnej inicjatywy technologicznej na rzecz bioprzemysłu, które pokrywają się w zakresie biogospodarki i gospodarki o obiegu zamkniętym. Całkowity wkład UE w te projekty wynosi 157 mln euro, co stanowi ok. 38% wkładu Unii we wszystkie projekty w ramach programu „Horyzont 2020” i wyzwanie bioprzemysłu w latach 2014–2016. Na lata 2018–2020 projekty dotyczyły głównie wyzwania społecznego obejmującego stworzenie platformy

tematycznej w dziedzinie biogospodarki, która zapewniłaby dostęp do finansowania, w szczególności w formie długu lub *quasi*-kapitału, dla innowacyjnych projektów biogospodarczych, ze szczególnym naciskiem na biogospodarkę o obiegu zamkniętym.

### 3.2. Przegląd strategii Unii Europejskiej oraz instrumenty finansowego wsparcia biogospodarki

W wielu strategiach i programach unijnych dostrzega się nawiązanie do biogospodarki. Dla przykładu deklaracja łódzkich bioregionów, polegająca na współpracy między polskimi regionami i synergii z inicjatywami UE, czy inicjatywa BioEast, na rzecz rolnictwa, akwakultury i leśnictwa w Europie Środkowo-Wschodniej w biogospodarce, są doskonałą ilustracją zaangażowania politycznego podjętego przez państwa członkowskie i regiony Unii Europejskiej. Najważniejsze strategie Unii Europejskiej wpływające na kształtowanie się analizowanego sektora zostały zestawione w tabeli 3.2.

**Tabela 3.2.** Przegląd strategii dotyczących newralgicznych obszarów biogospodarki opracowanych przez Komisję Europejską

Strategie przyjęte przez Komisję Europejską istotne dla biogospodarki
<p><b>Sektor: Biogospodarka:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Komunikat Komisji „Innowacje na rzecz zrównoważonego wzrostu: biogospodarka dla Europy” (2012) – cel strategii: stworzenie podstaw do bardziej innowacyjnego, zasobooszczędnego i konkurencyjnego społeczeństwa, w którym zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego nie wchodzi w konflikt z zasadami zrównoważonego wykorzystania zasobów odnawialnych dla celów przemysłowych, z jednoczesnym zapewnieniem ochrony środowiska.</li> </ol>
<p><b>Sektory dostarczające głównie biomasę:</b></p> <p>Rolnictwo:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Komunikaty Komisji: wnioski legislacyjne w sprawie wspólnej polityki rolnej (WPR) po 2020 r. (2018) – priorytetami przyszłej WPR są między innymi: zwiększanie troski o środowisko i intensyfikacja działań w dziedzinie klimatu, reagowanie na wyzwania środowiskowe, inwestowanie w rentowność i witalność obszarów wiejskich, zapewnienie wymiany pokoleniowej, zachowanie orientacji rynkowej, wzmocnienie pozycji rolników w łańcuchu żywnościowym, zarządzanie ryzykiem, innowacje.</li> <li>2. Komunikat Komisji „Strategia tematyczna w zakresie ochrony gleby” (2006) – w strategii skupiono się na glebie jako wspólnym zasobie. Gleba, równolegle do wody, powietrza i różnorodności biologicznej, ma decydujące znaczenie dla długofalowej i zrównoważonej produkcji żywności, paszy, roślin włóknistych i w coraz większym stopniu biomasy, co skłania do zwiększenia jej ochrony.</li> </ol>

**Strategie przyjęte przez Komisję Europejską istotne dla biogospodarki****Leśnictwo:**

1. Komunikat Komisji „Nowa strategia leśna UE: dla lasów i sektora leśnego” (2013) – głównym celem strategii było wykazanie i zagwarantowanie tego, że wszystkie lasy w UE są zarządzane zgodnie z zasadami zrównoważonej gospodarki leśnej, oraz zwiększenie wkładu UE w działania na rzecz promowania zrównoważonej gospodarki leśnej i ograniczania wylesiania na szczeblu globalnym.
2. Dokument roboczy służb Komisji „Wieloletni plan wdrażania nowej strategii leśnej UE” (2015) – strategia ma na celu nadanie lasom i sektorowi leśnemu kluczowego znaczenia na drodze zmierzającej do zielonej gospodarki.
3. Plan dla przemysłu leśnego UE (2013) – drewno jest uznawane za ważne źródło surowca dla nowych gałęzi przemysłu opartego na surowcach pochodzenia biologicznego, w związku z tym opracowany został plan rozwoju tego sektora. Co więcej, biomasa leśna jest obecnie najważniejszym źródłem energii odnawialnej, stanowiącym około połowy całkowitej ilości energii odnawialnej zużywanej w UE.

**Rybołówstwo, akwakultura i glony:**

1. Wspólne rozporządzenie podstawowe w sprawie rybołówstwa (UE) nr 1380/2013 (2013) – w rozporządzeniu ustanowiono wspólnotowy system ochrony i zrównoważonej eksploatacji zasobów rybołówstwa w ramach wspólnej polityki rybołówstwa.
2. Komunikat Komisji „Niebieski wzrost: perspektywy w zakresie zrównoważonego wzrostu w sektorach morskich” (2012) – komunikat był pierwszym krokiem procesu, który na stałe wprowadził niebieską gospodarkę do planów państw członkowskich, regionów, przedsiębiorstw i społeczeństwa obywatelskiego. Przedstawiono w nim, jak państwa członkowskie i strategie polityczne UE wspierały niebieską gospodarkę do 2012 r., oraz określono pięć konkretnych dziedzin odznaczających się szczególnym potencjałem w zakresie wzrostu, w których ukierunkowane działania mogą stanowić dodatkowy bodziec. Te dziedziny to: turystyka morska, nadmorska i rejsowa, niebieska energia, morskie zasoby mineralne, akwakultura i niebieska biotechnologia.
3. Sprawozdanie w sprawie strategii na rzecz niebieskiego wzrostu, w kierunku bardziej zrównoważonego wzrostu gospodarczego i zatrudnienia w niebieskiej gospodarce (2017) – jest to wszechstronna wizja metod budowania strategii zrównoważonego finansowania dla UE. W ramach zrównoważonego finansowania przedstawione zostały dwa filary bazujące na: 1) zwiększeniu roli finansowania w zrównoważonym wzroście sprzyjającym włączeniu społecznemu dzięki finansowaniu długoterminowych potrzeb społeczeństwa; 2) wzmocnieniu stabilności finansowej przez włączenie czynników z zakresu ochrony środowiska, polityki społecznej i ładu korporacyjnego do procesu podejmowania decyzji inwestycyjnych. W sprawozdaniu przedstawiono osiem kluczowych zaleceń, wiele zaleceń przekrojowych oraz działań ukierunkowanych na konkretne sektory systemu finansowego.
4. Komunikat Komisji „Strategiczne wytyczne na rzecz zrównoważonego rozwoju akwakultury w UE” (2013) – komunikat powstał na podstawie wyników konsultacji z zainteresowanymi stronami. Zawarto w nim analizę wykonaną przez Wspólne Centrum Badawcze. W celu wspierania potencjału akwakultury w UE w komunikacie omówione zostały cztery obszary priorytetowe, a mianowicie: procedury administracyjne, skoordynowane planowanie przestrzenne, konkurencyjność i równe warunki działania.
5. Komunikat Komisji „Międzynarodowa agenda zarządzania oceanem dla przyszłości naszych oceanów” (2016) – fundamentem dokumentu było powszechne porozumienie o konieczności wzmocnienia ram zarządzania oceanami, zmniejszenia presji wywieranej na oceany i morza oraz wykorzystywania ich w sposób zrównoważony. W komunikacie podkreślono również, że lepsze zrozumienie problematyki oceanów jest niezbędne, by osiągnąć wyznaczone cele.



**Strategie przyjęte przez Komisję Europejską istotne dla biogospodarki****Sektory wykorzystujące głównie biomasę:**

Bezpieczeństwo żywności i żywienia:

1. Komunikat Komisji „Ramy polityki UE na rzecz pomocy krajom rozwijającym się w stawianiu czoła wyzwaniom związanym z bezpieczeństwem żywnościowym” (2010) – komunikat stanowił przegląd osiągnięć Komisji Europejskiej w każdym ze wzmiankowanych obszarów oraz działań, jakie KE zamierzała podjąć. Opracowanie zostało przygotowane jako element realizacji strategii „Europa 2020”, która miała zapewnić inteligentny, trwały i sprzyjający włączeniu społecznemu wzrost gospodarczy. Komunikat wiązał się ściśle z inicjatywą przewodnią „Europa efektywnie korzystająca z zasobów”.
2. Komunikat Komisji „Zwiększenie wpływu polityki rozwojowej UE: program zmian” (2011) – opierając się na tezie, że rozwój nie jest zrównoważony, jeżeli szkodzi środowisku naturalnemu, różnorodności biologicznej i zasobom naturalnym oraz zwiększa narażenie bądź podatność ludności na klęski żywiołowe, przedstawiono propozycję wielokierunkowych działań na rzecz tworzenia w państwach członkowskich zrównoważonej gospodarki.
3. Komunikat Komisji „Wzmacnianie macierzyństwa i odżywianie dziecka w pomocy zewnętrznej: ramy polityki UE” (2013) – w dokumencie w sprawie polityki dotyczącej żywienia wskazano na potrzebę lepszej koordynacji między pomocą humanitarną a rozwojową w celu zwiększenia odporności ludności potrzebującej. W dokumencie opracowanym na wniosek Rady i Trybunału Obrachunkowego przedstawiono główną rolę w zapewnianiu wyżywienia władz krajowych, a także istotną rolę społeczeństw krajów rozwijających się jako inicjatorów zmian.
4. Komunikat Komisji „Podejście UE do odporności: uczenie się na kryzysach bezpieczeństwa żywnościowego” (2012) – komunikat miał na celu, po pierwsze, wykorzystanie wniosków z tych doświadczeń w celu poprawy skuteczności wsparcia UE na rzecz zmniejszania podatności na zagrożenia w krajach rozwijających się, które są szczególnie narażone na klęski żywiołowe, poprzez uwzględnienie kwestii odporności jako głównego celu; po drugie – wniesienie wkładu do międzynarodowej debaty na temat poprawy bezpieczeństwa żywnościowego i odporności w szerszym znaczeniu, szczególnie w kontekście G8, G20, Komitetu ds. Światowego Bezpieczeństwa Żywnościowego, inicjatywy na rzecz poprawy stanu żywienia, negocjacji dotyczących konwencji z Rio oraz globalnego porozumienia na rzecz Rogu Afryki.

Energia:

1. Dyrektywa UE w sprawie odnawialnych źródeł energii 2009/28/WE (2009) – dyrektywa ustanawia wspólne ramy dla promowania energii ze źródeł odnawialnych, określa obowiązkowe krajowe cele ogólne w odniesieniu do całkowitego udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto i w odniesieniu do udziału energii ze źródeł odnawialnych w transporcie, ustanawia zasady dotyczące statystycznych przekazów między państwami członkowskimi, wspólnych projektów między państwami członkowskimi i z państwami trzecimi, gwarancji pochodzenia, procedur administracyjnych, informacji i szkoleń oraz dostępu energii ze źródeł odnawialnych do sieci elektroenergetycznej, a także określa kryteria zrównoważonego rozwoju dla biopaliw i biopłynów.
2. Komunikat Komisji „Polityka energetyczna dla Europy” (2007) – komunikat stanowił analizę strategiczną europejskiej sytuacji energetycznej. Wprowadził zintegrowany pakiet działań określających europejską politykę energetyczną, tzw. pakiet energetyczny.
3. Komunikat Komisji „Europejski strategiczny plan w dziedzinie technologii energetycznych (plan EPSTE) – w kierunku niskoemisyjnej przyszłości” (2007) – podstawowym elementem EPSTE było dostosowanie najważniejszego zbioru instrumentów politycznych do potrzeb różnych technologii na różnych etapach cyklu rozwoju i stosowania. EPSTE uwzględnił wszystkie aspekty innowacji technologicznych, a także ram politycznych koniecznych do zachęcania przedsiębiorstw i podmiotów finansowych do dostarczania i wspierania technologii niskoemisyjnych o dużej wydajności.

**Strategie przyjęte przez Komisję Europejską istotne dla biogospodarki**

4. Komunikat Komisji „Ograniczenie globalnej zmiany klimatu do 2 stopni Celsjusza – droga do 2020 r. i dalej” (2007) – wewnętrzny plan działań mający ograniczyć globalne ocieplenie do 2°C, w którym kraje UE zobowiązały się do ograniczenia do 2020 r. emisji odpowiedzialnego za efekt cieplarniany CO<sub>2</sub> o 20% w porównaniu z 1990 r. W uzgodnionym przez ministrów państw członkowskich stanowisku napisano, że wstępnym celem do 2050 r. jest redukcja emisji CO<sub>2</sub> o 60–80%.
5. Komunikat Komisji „Energia 2020 – Strategia na rzecz konkurencyjnej, zrównoważonej i bezpiecznej energii” (2010) – głównym celem strategii była konsolidacja i wzmocnienie dotychczas podejmowanych inicjatyw związanych z energią, a także zapewnienie odpowiedniej reakcji na nowe wyzwania pojawiające się w tej dziedzinie, związane zarówno z rozwojem technologicznym, jak i dynamiczną sytuacją polityczno-gospodarczą na świecie. Wśród głównych zagadnień poruszanych w dokumencie była konieczność ujednoczenia europejskiego rynku energii poprzez zniesienie istniejących na nim barier, co miało pozwolić na prowadzenie skuteczniejszych, zsynchronizowanych w skali europejskiej działań w zakresie polityki energetycznej, a także przyspieszyć wdrażanie innowacji dzięki lepszym przepływowi kapitału, informacji i technologii. Strategia zwracała również uwagę na fakt, że zjednoczona Europa jest największym na świecie importem energii.
6. Komunikat Komisji „Plan działania w zakresie energii do roku 2050” (2011) – całościowy plan działania dotyczący dekarbonizacji, obejmujący unijną gospodarkę. Analizą objęto wszystkie sektory, takie jak: energetyka, transport, mieszkalnictwo, przemysł i rolnictwo.
7. Komunikat Komisji „Ramy polityczne dla klimatu i energii w okresie od 2020 do 2030” (2014) – dokument zawiera ogólnounijne założenia i cele polityki na lata 2021–2030, takie jak: redukcja emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 40% względem 1990 r., zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym udziale energii do co najmniej 32% oraz zwiększenie efektywności energetycznej do minimum 32,5%.
8. Komunikat Komisji „Przyspieszenie przejścia Europy do gospodarki niskoemisyjnej” (2016) – w dokumencie przedstawiono kompleksową strategię dotyczącą trzech głównych środków politycznych, które państwa członkowskie Unii Europejskiej muszą wdrożyć w celu zwiększenia inwestycji sektora prywatnego w innowacje w dziedzinie czystej energii.
9. „Czysty pakiet energetyczny” (2016) – pakiet wprowadzony w celu zapewnienia konkurencyjności państw unijnych na rynku energii, ze zwróceniem szczególnej uwagi na konieczność zintegrowanego podejścia, w którym priorytetem jest efektywność energetyczna.
10. Komunikat Komisji „Rola energii odpadowej w gospodarce o obiegu zamkniętym” (2017) – w dokumencie skoncentrowano się na odzyskiwaniu energii z odpadów oraz umiejscowieniu tego procesu w cyklu gospodarki o obiegu zamkniętym.

**Przemysł oparty na biologii:**

1. Komunikat Komisji „Inicjatywa rynków pionierskich dla Europy” (2007) – komunikat stanowi początek inicjatywy rynków pionierskich. Definiował pierwszą grupę potencjalnych rynków pionierskich. Miał na celu wezwanie państw członkowskich UE do pilnego i skoordynowanego działania poprzez ambitne plany działań dla tych rynków, aby szybko przynieść widoczne korzyści dla gospodarki i konsumentów europejskich.
2. Komunikat Komisji „Przygotowanie na przyszłość: opracowanie wspólnej strategii na rzecz kluczowych technologii wspomagających w UE” (2009) – dokument miał na celu zapoczątkowanie procesu identyfikacji kluczowych technologii wspomagających (KET), dzięki którym UE będzie dysponowała potencjałem przemysłowym i innowacyjnym, niezbędnym do podjęcia wyzwań społecznych. Komunikat zawierał także propozycje zestawu środków zmierzających do poprawy warunków ramowych. Stanowił część procesu rozwoju unijnej polityki przemysłowej oraz przygotowanie nowego europejskiego planu na rzecz innowacji.

Strategie przyjęte przez Komisję Europejską istotne dla biogospodarki
<p>3. Komunikat Komisji: „Silniejszy europejski przemysł na rzecz wzrostu i ożywienie gospodarcze” (2012) – komunikat stanowił propozycję partnerstwa między Unią Europejską, państwami członkowskimi oraz przemysłem, w celu przyspieszenia inwestycji w nowe technologie, by stworzyć europejską przewagę konkurencyjną w nowej rewolucji przemysłowej. Zaproponowano sześć priorytetowych obszarów działania obejmujących: zaawansowane technologie produkcyjne, kluczowe technologie wspomagające, bioprodukty, zrównoważoną politykę w zakresie przemysłu i budownictwa oraz surowców, ekologicznie czyste pojazdy, a także inteligentne sieci.</p> <p>4. Komunikat Komisji „O europejskim odrodzeniu przemysłu” (2014) – w komunikacie przedstawiono kluczowe priorytety KE w odniesieniu do polityki przemysłowej, opierając się na rocznej analizie wzrostu gospodarczego. W dokumencie przedstawiono, że polityka przemysłowa i inne obszary polityki UE stają się stopniowo coraz bardziej zintegrowane, jak również wyjaśniono, dlaczego taki proces uwzględniania kwestii dotyczących przemysłu w innych obszarach polityki musi być kontynuowany. Co najważniejsze, komunikat podkreślał znaczenie pełnego i skutecznego wdrożenia polityki przemysłowej w UE i miał za zadanie to ułatwić.</p> <p>5. Przyszła strategia dotycząca wykorzystania, ponownego użycia i recyklingu tworzyw sztucznych (2016) – strategia określała fundamenty nowej gospodarki tworzywami sztucznymi, w której produkcja tworzyw sztucznych i produkty z nich wykonane są w pełni dostosowane do potrzeb w zakresie ponownego użycia, naprawy i recyklingu oraz w której opracowywane są i promowane bardziej zrównoważone materiały.</p>

Źródło: opracowanie własne.

Państwa członkowskie Unii Europejskiej zobligowane są do przestrzegania i podejmowania działań w ramach ustanowionych przez Komisję Europejską strategii politycznych. W tabeli 3.3 zostały przedstawione wybrane dokumenty odzwierciedlające stanowisko KE w pięciu obszarach, takich jak: ochrona środowiska i zmiany klimatu, gospodarka o obiegu zamkniętym w kontekście odpadów, polityka regionalna wraz z inteligentną specjalizacją regionów, sektor badań i rozwoju oraz polityka przemysłowa.

**Tabela 3.3.** Polityka Unii Europejskiej istotna dla biogospodarki

<p>Ochrona środowiska i zmiany klimatu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plan działania UE na rzecz przyrody, ludzi i środowiska (2017)</li> <li>2. Strategia różnorodności biologicznej UE (2011)</li> <li>3. Strategia UE w sprawie dostosowania do zmian klimatu (2013)</li> </ol>
<p>Gospodarka o obiegu zamkniętym – odpady:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Komunikat Komisji „W kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym: program zero odpadów dla Europy” (2014)</li> <li>2. Komunikat Komisji „Zamknięcie pętli – Plan działania UE na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym” (2015)</li> <li>3. Komunikat Komisji „Rola odpadów w energetyce w gospodarce o obiegu zamkniętym” (2017)</li> <li>4. Strategia przyszłości w zakresie wykorzystania, ponownego użycia i recyklingu tworzyw sztucznych (2016)</li> <li>5. Pakiet odpadów (2018)</li> <li>6. Rozporządzenie w sprawie pomocników (rozporządzenie (WE) nr 2003/2003) Gospodarka cyrkularna (2018)</li> </ol>

Polityka regionalna – inteligentna specjalizacja:

1. Komunikat Komisji „Polityka regionalna przyczyniająca się do inteligentnego wzrostu w strategii Europa 2020” (2010)
2. Komunikat Komisji „Wzmacnianie innowacji w regionach Europy: strategię na rzecz odpornego, sprzyjającego włączeniu społecznemu i zrównoważonego wzrostu” (2017)

Badania i innowacje:

1. Komunikat Komisji „Inicjatywa przewodnia strategii Europa 2020 – Unia innowacji” (2010)

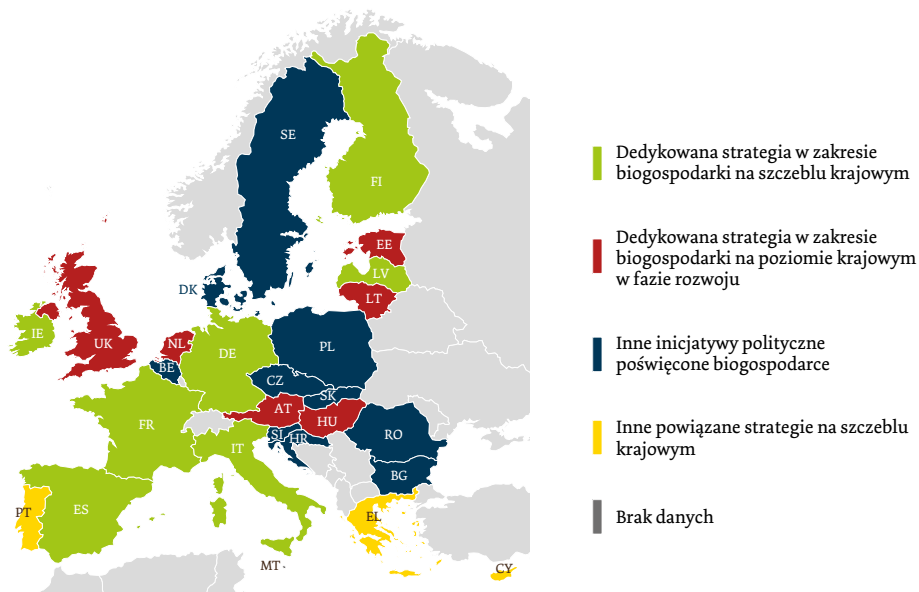
Polityka przemysłowa:

1. Komunikat Komisji „Inwestowanie w inteligentny, innowacyjny i zrównoważony przemysł – odnowiona strategia polityki przemysłowej UE” (2017)

Źródło: European Commission 2018, s. 23–25.

Większość krajów członkowskich Unii Europejskiej podjęło działania mające na celu wsparcie i rozwój biogospodarki. Strategie biogospodarki i inne inicjatywy polityczne poświęcone biogospodarce w UE od marca 2018 r. zostały przedstawione na rysunku 3.2.

**Rysunek 3.2.** Polityka i strategie poświęcone biogospodarce w UE



Źródło: Centrum wiedzy Komisji Europejskiej na rzecz biogospodarki 2018, [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-6067\\_pl.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6067_pl.htm) (dostęp: 12.06.2019).

Główną formą pomocy finansowej udzielanej przedsiębiorcom w UE jest pomoc *de minimis*. Do najczęściej spotykanych rodzajów tej pomocy (limit

podstawowy – 200 tys. euro) należy zaliczyć: dotacje, np. w ramach funduszy unijnych, ulgi podatkowe, zwolnienia z opłat, preferencyjne kredyty i pożyczki, gwarancje i poręczenia kredytowe, pomoc kapitałową, odroczenie terminu zapłaty, rozłożenie należności na raty. W tabeli 3.4 zaprezentowano wybrane instrumenty wsparcia finansowego dla przedsiębiorstw działających w Polsce.

**Tabela 3.4.** Wybrane instrumenty wsparcia finansowego dla przedsiębiorstw działających w Polsce

Regionalna pomoc inwestycyjna w ramach celu tematycznego w zakresie wzmocnienia konkurencyjności mikroprzedsiębiorców, małych i średnich przedsiębiorców w ramach regionalnych programów operacyjnych na lata 2014–2020
Program ramowy pomocy regionalnej udzielanej przez gminy na wspieranie nowych inwestycji lub tworzenie nowych miejsc pracy związanych z nową inwestycją
Program pomocy regionalnej udzielanej przedsiębiorcom prowadzącym działalność gospodarczą w specjalnych strefach ekonomicznych na podstawie zezwoleń wydanych w okresie od 25 grudnia 2014 r. do 31 grudnia 2020 r.
Pomoc na badania podstawowe, badania przemysłowe, eksperymentalne prace rozwojowe oraz studia wykonalności w ramach regionalnych programów operacyjnych na lata 2014–2020
Pomoc finansowa udzielana przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości w ramach programu operacyjnego „Inteligentny Rozwój 2014–2020”
Pomoc finansowa udzielana przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości na wspieranie ośrodków innowacyjności w ramach programu operacyjnego „Innowacyjna Gospodarka”
Program pomocy regionalnej udzielanej przedsiębiorcom prowadzącym działalność gospodarczą w specjalnych strefach ekonomicznych na podstawie zezwolenia wydanego po 1 stycznia 2007 r.
Program horyzontalnej pomocy publicznej na cele z zakresu ochrony środowiska określony rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych warunków udzielania horyzontalnej pomocy publicznej na cele z zakresu ochrony środowiska
Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 3 listopada 2015 r. w sprawie udzielania pomocy na otwarte innowacje – wspieranie transferu technologii w ramach programu operacyjnego „Inteligentny Rozwój 2014–2020”
Program regionalnej pomocy publicznej inwestycyjnej na cele z zakresu ochrony środowiska określony rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych warunków udzielania regionalnej pomocy publicznej inwestycyjnej na cele z zakresu ochrony środowiska
Warunki i tryb udzielania pomocy publicznej i pomocy <i>de minimis</i> za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju
Pomoc na realizację inwestycji służących podniesieniu poziomu ochrony środowiska w ramach regionalnych programów operacyjnych na lata 2014–2020
Pomoc finansowa na inwestycje typu centra badawczo-rozwojowe przedsiębiorców w ramach programu operacyjnego „Inteligentny Rozwój 2014–2020”

Źródło: opracowanie własne na podstawie: SUDOP 2019, *Wspólna lista... 2019*.

Należy zaznaczyć, że w zaprezentowanym zestawieniu przedstawiono jedynie wybrane instrumenty wsparcia finansowego ze strony instytucji rządowych. Można do nich także zaliczyć instrumenty o charakterze komercyjnym, tj. pożyczki bankowe i dofinansowania o charakterze inwestycyjnym.

### 3.3. Benchmarking rozwiązań biogospodarki w krajach Unii Europejskiej

Wychodząc od definicji biogospodarki jako dziedziny, której obszarem zainteresowania są sektory gospodarki zajmujące się produkcją, przetwarzaniem i wykorzystaniem zasobów naturalnych w różnej postaci, można powiedzieć, że jest ona platformą, na której spotykają się zaawansowane, intensywne badania naukowe w wielu dziedzinach i innowacyjne sposoby wykorzystania surowców biologicznych.

Biogospodarka stanowi podstawę interdyscyplinarnego podejścia do rozwoju gospodarczego, łącząc ze sobą badania naukowe, *know-how* w dziedzinie biotechnologii z realnymi procesami gospodarczymi. Można zauważyć, że podstawową przesłanką wysunięcia koncepcji biogospodarki jest potrzeba transformacji gospodarki opartej na tradycyjnych, konwencjonalnych źródłach energii w gospodarkę opartą na wiedzy, nadającą prymat odnawialnym źródłom energii, biotechnologii i innowacjom (Adamowicz 2017, s. 34). Do uwarunkowań rozwoju tak rozumianej biogospodarki można zatem zaliczyć (Chyłek i Rzepacka 2011, s. 7):

- zrównoważone zasoby biologiczne,
- kapitał ludzki,
- nakłady na naukę, badania i rozwój,
- dostępność rozwiązań innowacyjnych,
- system fiskalny i stan finansów publicznych w danym państwie,
- spójność polityki naukowej z politykami gospodarczymi,
- dostępność informacyjną i sposoby komunikowania się,
- doradztwo,
- infrastrukturę techniczną,
- stan prawny.

Część powyższych determinant stanowi uwarunkowania prawno-instytucjonalne, część ma charakter „miękki”, tym niemniej nie można jednoznacznie wskazać jedynie kilku najważniejszych, od których będzie zależało powodzenie wprowadzania rozwiązań biogospodarczych w życie. Dzieje się tak ze względu na różny stopień rozwoju gospodarczego kraju, jakość kapitału ludzkiego i społecznego, decyzyjność na poszczególnych szczeblach administracji państwowej i regionalnej, czy też aktualną sytuację polityczną w danym kraju.

Istotne jest spojrzenie na biogospodarkę zarówno z mikroekonomicznego punktu widzenia – wyzwań rynkowych, przed jakimi stoją przedsiębiorstwa czy konsumenci, jak i makroekonomicznego – zapewnienia odpowiedniego porządku prawnego czy rozwiązań systemowych na poziomie regionalnym, krajowym bądź ponadnarodowym (np. w ramach Unii Europejskiej).

Stąd też zasadne jest przyjrzenie się doświadczeniom innych krajów, w których biogospodarka stała się znaczącym sektorem gospodarki, jak i tym, w których jest ona jedynie *in statu nascendi*. Wciąż mamy do czynienia z niezwykle istotnymi różnicami występującymi między krajami członkowskimi w Unii Europejskiej – zmiany gospodarki w kierunku bioekonomii są powodowane odmiennymi przesłankami lub ich kombinacją. Ich ranga zależy od specyfiki kraju i stopnia jego „bioekonomizacji”, czy też od priorytetów uznanych w dokumentach za strategiczne:

- odniesienia do zmian klimatu jako czynnika o znaczeniu globalnym i uniwersalnym,
- bezpieczeństwa energetycznego będącego w niektórych krajach czynnikiem o znaczeniu geopolitycznym,
- ograniczenia zużycia paliw kopalnych będącego wyrazem „zazielenienia” gospodarki,
- ożywienia niektórych gałęzi przemysłu – zmiany o charakterze strukturalnym,
- odniesienia do rynku pracy – tworzenia nowych miejsc pracy w nowoczesnych sektorach,
- bezpieczeństwa żywności,
- uzyskiwania przewagi komparatywnej na międzynarodowych rynkach dzięki zastosowaniu wysokich technologii.

Interesujące wydaje się przedstawienie klasyfikacji wybranych krajów Unii Europejskiej według oceny potencjału rozwojowego sektora biogospodarki, gdzie kluczowym elementem oceny są procesy tworzenia i dyfuzji nowej wiedzy. Tak rozumiane pojęcie nosi w literaturze miano KBBE (*knowledge-based bioeconomy*). W badaniu zestawiono następujące zmienne:

- liczbę absolwentów uczelni wyższych kierunków leśnych, rolniczych, rybackich oraz przyrodniczych,
- nakłady na działalność rozwojową ponoszone przez firmy zajmujące się działalnością w sektorach biogospodarki (tj. drewno, tytoń, słoma, artykuły do wyplatania, artykuły żywnościowe i napoje, papier i wyroby z papieru),
- nakłady budżetowe na prace badawczo-rozwojowe,
- liczbę zgłoszeń patentowych dokonanych przez firmy z branży biotechnologicznej (tj. drewno, tytoń, słoma, artykuły do wyplatania, artykuły żywnościowe i napoje, papier i wyroby z papieru).

Dla potrzeb badania porównawczego krajów Unii Europejskiej posłużono się miarą **rozwoju Hellwiga** w celu klasyfikacji obiektów wielowymiarowych (tabela 3.5).

**Tabela 3.5.** Zestawienie krajów Unii Europejskiej według kryterium możliwości absorpcji wiedzy i edukacji na potrzeby biogospodarki

Lp.	Kraj	Miara rozwoju
1	Estonia	0,192
2	Słowenia	0,196
3	Litwa	0,194
4	Bułgaria	0,196
5	Dania	0,291
6	Finlandia	0,261
7	Chorwacja	0,197
8	Węgry	0,211
9	Holandia	0,397
10	Belgia	0,296
11	Portugalia	0,250
12	Rumunia	0,213
13	Czechy	0,224
14	Hiszpania	0,364
15	Włochy	0,462
16	Polska	0,264
17	Niemcy	0,736
18	Wielka Brytania	0,631
19	Francja	0,530

Źródło: Grzyb 2018.

Jak pokazują wyniki badania oceny zdolności krajów UE do tworzenia i wykorzystania wiedzy na potrzeby biogospodarki, wśród państw o najniższym stopniu rozwoju KBBE znalazły się: Estonia, Litwa, Słowenia i Bułgaria, zaś na przeciwnym biegunie – Niemcy, Wielka Brytania i Francja. Z całą pewnością, by uzyskać pełny obraz oceny potencjału rozwojowego biogospodarki opartej na wiedzy, należałoby posłużyć się większym wolumenem zmiennych, dotyczących



choćby branży farmaceutycznej, czy też danych odnoszących się do jakości kapitału ludzkiego – zatrudnionych w określonych branżach, a nie jedynie liczby absolwentów wybranych kierunków studiów (Kijek i Chojnacki 2016).

Zupełnie inną optykę, jeśli chodzi o potencjał rozwojowy biogospodarki, zyskuje się, uwzględniając kraje spoza grupy państw wysoko rozwiniętych. Szans rozwojowych mogą one upatrywać w zupełnie innych zmiennych – dużej bazie surowcowej czy poziomie konsumpcji energii ze źródeł odnawialnych (tabela 3.6).

**Tabela 3.6.** Wskaźniki bioekonomiczne dla Niemiec i wybranych krajów rozwijających się

Wskaźnik bioekonomiczny	Niemcy	Etiopia	Malezja	Brazylia
PNB <i>per capita</i> (USD PPP)	47 033	1 774	26 141	15 690
HDI (0-1)	0,92	0,44	0,78	0,76
Udział rolnictwa w PNB (%)	0,8	41,9	8,9	5,2
Udział nakładów na działalność rozwojową w sektorach bio (rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo) (%)	5	13	8	8
Liczba pracowników z działów badań i rozwoju przypadająca na 1 mln zatrudnionych	4078	42	1467	698
Wskaźnik solaryzacji na poziomie szkolnictwa wyższego	66	8	30	46
Udział energii odnawialnej w finalnej konsumpcji	12	93	7	44
Orientacja narodowych strategii ekonomicznych opartych na wiedzy	międzysektorowy rozwój biogospodarki	koncentracja na rozwoju biopaliw	międzysektorowy rozwój biogospodarki	koncentracja na wysokich technologiach związanych z rozwojem bioenergii i biotechnologii

Źródło: Börner i in. 2017, s. 4.

Patrząc na problematykę biogospodarki długofalowo, należy zanalizować kwestie strategicznego podejścia do tego tematu. Być może brak dokumentów krajowych, nadających holistyczne spojrzenie tym zagadnieniom, stanowi o sukcesie. W ramach Unii Europejskiej rządy we Francji, Włoszech, w Austrii, na Łotwie, w Norwegii, Hiszpanii, Finlandii i Irlandii wydały dokumenty o randze

strategii krajowych, regulujących kwestie bioekonomii<sup>8</sup>. Termin „biogospodarka” staje się coraz popularniejszy w różnego rodzaju dokumentach strategicznych i strategiach globalnych. Na ogół dokumenty o charakterze strategicznym dotyczące rozwiązań biogospodarczych, tworzone od 2015 r. traktują przede wszystkim o realizacji celów zrównoważonego rozwoju, w których kluczowym pojęciem jest zielony wzrost, jednak jego rozumienie i operacjonalizacja różni się w poszczególnych krajach. Przykładowo w Finlandii czy w Kanadzie (krajach mających swą specyfikę, jeśli chodzi o zasoby naturalne) została zdefiniowana koncepcja biogospodarki opartej na lasach. Ogólnie można stwierdzić, że w Unii Europejskiej biogospodarka została ściśle powiązana z koncepcją gospodarki zamkniętej (*circular economy*). W Stanach Zjednoczonych czy Chinach silniejsze są tendencje do umieszczania biogospodarki w kontekście wysokiej technologii, innowacji, digitalizacji (Stany Zjednoczone – „industrializacja biologii”) (*Bioeconomy Policy* 2018).

Należy podkreślić, że w ostatnich latach można mówić o wzroście zainteresowania kwestiami biogospodarki, co znajduje odzwierciedlenie w rozwoju polityk sektorowych czy też stopnia formalizacji kontaktów pomiędzy podmiotami ekonomicznymi a politycznymi decydentami. Na szczególną uwagę zasługują przykłady ponadnarodowego podejścia w sprawach biogospodarczych, wychodzące poza wąską optykę krajową i realizację partykularnych interesów, często związanych tylko z ekonomicznym rachunkiem poszczególnych firm z branży biotechnologicznej. Do tego typu inicjatyw należy zaliczyć (*Bioeconomy and Biorefining* 2018):

- Forum Bioregionów Europy Środkowo-Wschodniej, które promuje udział zainteresowanych stron (biznesu, naukowców, społeczeństwa) poprzez finansowanie inicjatyw związanych z tworzeniem biowiosek, biomiast i bioregionów;
- Inicjatywę Europy Środkowo-Wschodniej na rzecz Rolnictwa Opartego na Wiedzy, Akwakultury i Leśnictwa w Biogospodarce (BIOEAST), promującą strategiczną wizję rozwoju biogospodarki w Europie Środkowo-Wschodniej (Czechy, Węgry, Polska, Słowacja, Estonia), rozszerzającą tę inicjatywę na Bułgarię, Rumunię, Słowenię i Chorwację;
- kraje skandynawskie (Dania, Finlandia, Norwegia, Szwecja, Wyspy Owcze, Grenlandia, Islandia) – opracowują obecnie wspólną nordycką strategię dotyczącą biogospodarki;

---

<sup>8</sup> Na szczególną uwagę zasługują inicjatywy w Danii, gdzie Ministerstwo Środowiska i Żywności utworzyło Radę ds. Bioekonomii (2017), oraz Holandii, w której działa Federacja Bioekonomii (2017) odpowiedzialna za kontakty pomiędzy zainteresowanymi stronami oraz kwestie oceny zrównoważenia procesu bioekonomizacji gospodarki.

- Wspólną Inicjatywę Przemysłów Opartych na Materiałach Bio (BioBased Industries Joint Undertaking – BBIJU) – w ramach partnerstwa publiczno-prywatnego dysponuje ona rocznym budżetem w wysokości 3,7 mld euro na promocję rozwoju biogospodarki, wsparcie zrównoważonej produkcji i wykorzystanie biomasy oraz jej skuteczne przekształcanie w wysokiej jakości produkty biologiczne;
- inicjatywę badawczą występującą w latach 2012–2017 (MACSUR Coordinator 2017), podczas której prowadzone były badania w ramach projektów MACSUR i MACSUR2 – Centrum Wiedzy FACCE JPI „Modelowanie Europejskiego Rolnictwa ze Zmianami Klimatu dla Bezpieczeństwa Żywności” (FACCE JPI/04/2012) zarówno w wymiarze europejskim (18 krajów, 300 partnerów, 71 zespołów badawczych), jak i w innych ważnych ośrodkach o randze światowej (USA) (Bojar 2018).

W kwestii dotyczącej finansowania działań z dziedziny biogospodarki na poziomie ponadkrajowym można wyróżnić kilka inicjatyw związanych z funkcjonowaniem funduszy strukturalnych oraz Funduszu Kohezji. Część połączonego budżetu z wcześniej wymienionych źródeł wynosi ponad 450 mld euro rocznie.

**W Niemczech strategia badań nad biogospodarką została sfinansowana przez Ministerstwo Edukacji i Badań Naukowych (BMBF) w 2016 r.** W tym samym roku niemieckie Ministerstwo Żywności i Rolnictwa (BMEL) opublikowało sprawozdanie z postępów wdrażania niemieckiej strategii w dziedzinie biogospodarki. Rząd federalny sfinansował trzy projekty badawcze dotyczące głównych elementów systemu monitorowania – dane statystyczne o gospodarce (statystyka masowa), baza zasobów biomasy i monitoringu zrównoważonego rozwoju oraz system modelowania biogospodarki (*Bioeconomy and Biorefining...* 2018).

W kontekście operacjonalizacji rozwiązań biogospodarczych istotne jest spojrzenie na przykłady firm, które będą stanowić swoistą awangardę takich rozwiązań w biznesie. Trudno rozstrzygnąć, czy będą to działania czysto marketingowe, czy też wynikające z rzeczywistej zmiany podejścia do misji firmy – tym nie mniej można już znaleźć przykłady przedsiębiorstw, które wdrażają bądź zamierzają implementować elementy zrównoważonego gospodarowania zasobami.

W grudniu 2018 r. **Nestlé ogłosiło utworzenie Instytutu Badań nad Opakowaniami.** Jego celem jest praca nad stworzeniem i rozwojem funkcjonalnych, bezpiecznych i przyjaznych dla środowiska rozwiązań w zakresie opakowań produktów. Między 2020 a 2025 r. Nestlé wycofa nienadające się do recyklingu materiały opakowaniowe z tworzyw sztucznych lub takie, których recykling jest wyjątkowo trudny. Dotyczy to wszystkich produktów firmy na całym świecie. Wprowadzi natomiast do swojego globalnego portfolio alternatywne materiały opakowaniowe i nawiąże partnerstwo z głównymi specjalistami w tym zakresie (<http://www.portalspozywczy.pl/technologie/wiadomosci/nestle-chce-aby-1-00-wykorzystywanych-opakowan-nadawalo-sie-do-recyklingu-lub-ponownego-uzyciu,167522.html>, dostęp: 27.02.2019):

- Od lutego 2019 r. Nestlé rozpoczęło eliminowanie plastikowych słomek, wykorzystując w tym celu alternatywne materiały, takie jak papier.
- W pierwszym kwartale 2019 r. firma zaczęła wprowadzać opakowania papierowe dla marki Nesquik, a w drugiej połowie tego roku – dla batonika Yes! Także dla cukierków Smarties rozpoczęło w tym roku wprowadzanie opakowań wolnych od tworzyw sztucznych. W 2020 r. marka Milo wprowadzi worki papierowe.
- Nestlé Waters zwiększy zawartość PET z recyklingu do 35% na poziomie globalnym. Wyjątkiem są Stany Zjednoczone i marka Poland Springs oraz cztery marki europejskie: Acqua Panna, Buxton, Henniez i Levissima. W każdej z nich udział tego tworzywa zostanie zwiększony do 50%.
- Udany recykling wymaga odpowiedniej infrastruktury, która nie zawsze jest dostępna na miejscu. Dlatego Instytut Badań nad Opakowaniami testuje tworzywa alternatywne: nowe materiały papierowe i biodegradowalne polimery.
- Nestlé nawiązuje też współpracę z partnerami zewnętrznymi. Przykładem jest Danimer Scientific – pionier w tworzeniu bardziej zrównoważonych i naturalnych sposobów wytwarzania produktów z tworzyw sztucznych. Współpraca ta została nawiązana z myślą o opracowaniu nadającej się do recyklingu butelki biodegradowalnej w morzu.
- Nestlé podjęło też współpracę z PureCycle Technologies – firmą wprowadzającą na rynek przełomowe technologie recyklingu. Dzięki nim można usuwać barwę, zapach i zanieczyszczenia z plastikowych wsadów, aby móc przekształcić je w żywicę pierwotną.
- Wraz z innymi producentami wody Nestlé zobowiązało się – w ramach Europejskiej Federacji Wód Butelkowanych (EFBW), aby do 2025 r. w Unii Europejskiej zbieranych było 90% wszystkich butelek PET, a co najmniej 25% odzyskanego tworzywa wykorzystywano do produkcji nowych.
- Powyższa deklaracja przewiduje również wprowadzanie innowacji i inwestowanie w ekoprojekty oraz badania nad sztucznymi materiałami powstałymi z tworzyw niekopalnych. Jednym ze sposobów poszukiwania innowacyjnych rozwiązań jest wspieranie przez Nestlé Polska projektu *Science Challenge Day*. Umożliwia on przetestowanie, czy zgłoszone przez naukowców, wynalazców i ekostartupy pomysły zmierzające do zredukowania problemu plastiku na świecie mają potencjał biznesowy.

Problem zagospodarowania odpadów opakowaniowych czy też walki ze wszechobecnym plastikiem w tej branży jest również przedmiotem zainteresowania firm typu startup. Wszechobecne plastikowe torby na zakupy zostały po raz pierwszy wprowadzone do handlu w latach 60. XX w. i są do dziś niezwykle popularne. W Finlandii **start-up Paptic** opatentował materiał z włókien drzewnych o właściwościach przypominających tworzywo sztuczne (jeśli chodzi o wytrzymałość i odporność na warunki atmosferyczne). Do tej pory firmie udało się stworzyć torbę, która jest do 70% odnawialna i biodegradowalna, a w 100% podlega recyklingowi ([www.goodnewsfinland.com/feature/five-finnish-bioeconomy-innovations-set-to-change-the-future](http://www.goodnewsfinland.com/feature/five-finnish-bioeconomy-innovations-set-to-change-the-future), dostęp: 13.03.2019).

Nie ma europejskiego prawodawstwa dotyczącego bezpośrednio bioplastiku i opakowań z biotworzyw. W wypadku opakowań ma zastosowanie ustawa z dnia 13 czerwca 2013 r. o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi (Ustawa... 2013). Tworzywo sztuczne rozumiane jest w niej jako polimer w rozumieniu art. 3 pkt 5 rozporządzenia (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów.

Przykładem projektu realizowanego na terenie Małopolski, wykorzystującego potencjał polimerów jest „Technologia biorafinacji olejów roślinnych do wytwarzania zaawansowanych materiałów kompozytowych” pod kierownictwem dr. Macieja Guzika z Instytutu Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk.

Projekt zakłada stworzenie linii demonstracyjnej – mobilnego modułu biorafinerii do produkcji unikatowej rodziny polimerów bakteryjnych – polihydroksyalkanianów (PHA). Prace ukierunkowane są na zademonstrowanie potencjału tych polimerów w rozwoju polskiej gospodarki na przykładzie przygotowania kompozytowych materiałów do formowania przestrzennego (np. implantów tkanki kostnej i chrzęstnej czy też innych zaawansowanych pozaimplantacyjnych form kompozytowych, tj. materiałów elastycznych wykorzystywanych na potrzeby przemysłu – tekstylia, opakowania spożywcze, zabawki i inne wyroby plastikowe).

Na biogospodarkę można spojrzeć jako na proces – ujęcie dynamiczne, lub stan, w jakim znajduje się dana gospodarka – ujęcie statyczne. Aby możliwy był pełny rozwój biogospodarki, w pierwszym przypadku liczą się przede wszystkim takie elementy, jak: dokumenty strategiczne o charakterze długoterminowym, odpowiednia polityka ekologiczna, czy szerzej – gospodarcza, pełny system edukacyjny, obejmujący zarówno edukację formalną, jak i nieformalną. W ujęciu statycznym rozwojowi biogospodarki sprzyja odpowiednio dobrany system wskaźników odzwierciedlających *status quo* gospodarki.

## Literatura

- Adamowicz M. (2017), *Biogospodarka – koncepcja, zastosowanie i perspektywy*, „Zagadnienia Ekonomiki Rolnej”, vol. 1(350).
- Bioeconomy and Biorefining Strategies in the EU Member States and Beyond* (2018), IEA Bioenergy: Task 42, December.
- Bioeconomy Policy (Part III)* (2018), Update Report of National Strategies around the World, Berlin, April.
- Bojar M. (2018), *Efektywne centra wiedzy w obszarze biogospodarki w ujęciu regionalnym i ponadregionalnym*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie”, vol. 129.
- Bórner J., Kuhn A., Braun J. von (2017), *Bioeconomy in Developing Countries*, ZEF Policy Brief No. 25.
- Chyłek E.K., Rzepacka M. (2011), *Biogospodarka – konkurencyjność i zrównoważone wykorzystanie zasobów*, „Polish Journal of Agroecology”, vol. 7.
- Deklaracja mediolańska. *Połączyć siły na rzecz inwestycji. w przyszłość Europy*, Załącznik nr 1 do Uchwały nr 410/15 Zarządu Województwa Małopolskiego z dnia 9 kwietnia 2015 r.

- European Commission (1994), *Growth, Competitiveness, Employment. The Challenges and Ways Forward into the 21st Century*, White Paper, Brussels.
- European Commission (2000), *The Lisbon European Council: An Agenda of Economic and Social Renewal for Europe*, Brussels.
- European Commission (2005), *New Perspectives on the Knowledge-based Bioeconomy*, Brussels.
- European Commission (2012), *Innovating for Sustainable Growth. A Bioeconomy for Europe*, Brussels.
- European Commission (2018), *A Sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the Connection between Economy, Society and the Environment, Updated Bioeconomy Strategy*, Brussels.
- Grzyb A. (2018), *Contemporary Problems of Bioeconomy in the Light of Experience of Selected European Union Countries*, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Poznań.
- Inicjatywa Awangarda*, <https://www.malopolska.pl/biznes/innowacje/inicjatywa-awangarda> (dostęp: 23.06.2019).
- Kijek T., Chojnacki P. (2016), *Ocena zdolności krajów Unii Europejskiej do tworzenia i wykorzystania wiedzy na potrzeby biogospodarki*, Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, vol. 18(5).
- MACSUR Coordinator (2017), *MACSUR – SECOND PHASE REPORT*, <http://ojs.macsur.eu/index.php/Reports/article/view/H0.2-M4/412> (dostęp: 17.05.2019).
- Nowa strategia dotycząca biogospodarki dla zrównoważonej Europy*, [europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-6067\\_pl.pdf](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6067_pl.pdf) (dostęp: 12.05.2019).
- Rozporządzenie Komisji (WE) nr 10/2011 z dnia 14 stycznia 2011 r. w sprawie materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych przeznaczonych do kontaktu z żywnością.
- SUDOP System Udostępniania Danych o pomocy Publicznej* Urząd Ochrony Konkurencji i Konsumentów (2019), *Wyszukiwanie środków pomocowych*, <https://sudop.uokik.gov.pl/search/aidSource> (dostęp: 20.12.2019).
- Ustawa z dnia 13 czerwca 2013 r. o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi, Dz.U. 2013, poz. 888.

# POLSKA I MAŁOPOLSKA – ANALIZA WYBRANYCH OBSZARÓW SEKTORA BIOGOSPODARKI

## 4.1. Miejsce biogospodarki w polskiej strategii rozwoju

Polska w 2019 r. nadal nie ma strategii biogospodarki, mimo że w „Strategii na rzecz odpowiedzialnego rozwoju” (Morawiecki 2017, s. 65), opublikowanej w 2017 r., wymienione zostały trzy obszary rewolucyjnych zmian: biogospodarczy, cyfrowy i energetyczny. Jednak już w wersji 5. Krajowej inteligentnej specjalizacji, obowiązującej od stycznia 2019 r., wskazano obszary (tzw. osie), które opierają się na różnych aspektach biogospodarki i bezpośrednio się do niej odnoszą:

- zdrowe społeczeństwo,
- biogospodarka rolno-spożywcza, leśno-drzewna, środowiskowa,
- zrównoważona energetyka,
- gospodarka w obiegu zamkniętym – woda, surowce kopalne, odpady,
- innowacyjne technologie i procesy przemysłowe.

Również w dokumencie „Strategia rozwoju kraju”, opublikowanym w 2012 r. (do 2020 r.) (Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, 2012) wyznaczono kilka tematów związanych z biogospodarką, w tym w ramach II obszaru strategicznego „Konkurencyjna gospodarka”: wzrost wydajności gospodarki i wzrost konkurencyjności i modernizacja sektora rolno-spożywczego, poprawa bezpieczeństwa energetycznego i środowiskowego, dywersyfikacja dostaw paliw i energii oraz dostosowanie do zmian klimatycznych, natomiast w III obszarze strategicznym „Spójność społeczna i terytorialna”: wsparcie rozwoju przestrzennego na rzecz pełnego wykorzystania potencjału regionalnego, tworzenie warunków rozwoju regionalnych centrów oraz wzmacnianie potencjału obszarów wiejskich.

Inny dokument, w którym nawiązano do biogospodarki, to „Strategia innowacji i wydajności gospodarki” opublikowana w 2013 r. (do 2020 r.), w której

wprawdzie nie pojawia się określenie „biogospodarka”, ale wspomina się model obiegu zamkniętego i odnosi się do problematyki, w ramach której biogospodarka może mieć zastosowanie. Pojęcie biogospodarki pojawia się natomiast w „Strategii bezpieczeństwa energetycznego i środowiska” opublikowanej w 2014 r. (do 2020 r.), zwłaszcza w kontekście bioenergetyki (biogazownie i energia pozyskiwana z biomas) oraz kwestii bioodpadów, którymi zarządzanie jest kluczowe dla rozwoju biogospodarki. Kontekst biogospodarki pojawia się także w „Strategii zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa 2012” (do 2020 r.), szczególnie w odniesieniu do potencjału biogazowni rolniczych. Na potencjał i szanse płynące z biogospodarki zwrócono też uwagę w „Narodowym programie rozwoju gospodarki niskoemisyjnej” (2015 r.), co zrozumiałe w kontekście tego dokumentu, przede wszystkim w kontekście bioenergetyki. W projekcie „Strategii zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa do 2030 r.” biogospodarka pojawia się już w kontekście narzędzia rozwoju zrównoważonego i elementu gospodarki obiegu zamkniętego, narzędzia zachowywania bioróżnorodności, efektywności energetycznej czy bezpieczeństwa żywnościowego. Wspomina się też o konieczności włączenia zagadnień biogospodarki w proces edukacji. Dostrzegalny jest więc pewien progres, jeżeli chodzi o obecność pojęcia biogospodarki w dokumentach strategicznych państwa<sup>9</sup>. Na poziomie ponadnarodowej współpracy Polska, będąc jednym z członków założycieli Grupy Wyszehradzkiej, jest zaangażowana w BIOEAST (2016): Europejską Inicjatywę na rzecz Rolnictwa, Akwakultury i Leśnictwa Opartego na Wiedzy o Biogospodarce, której celem jest ustanowienie wspólnej strategii dotyczącej biogospodarki i wzmocnienie ponadnarodowych powiązań między zaangażowanymi w nią sektorami. Dokument został podpisany przez ministrów rolnictwa Polski, Węgier, Czech, Słowacji, Bułgarii, Rumunii, Słowenii, Chorwacji i Estonii. Biogospodarka w tych krajach gwarantuje miejsca pracy 40% zatrudnionych. BIOEAST wskazuje w Polsce dwa obszary wymagające szczególnej uwagi:

- wykorzystanie potencjału w regionach o słabych wynikach w badaniach i innowacjach,
- prowadzenie konkretnych badań w obszarach istotnych dla makroregionu Europy Środkowo-Wschodniej, gdzie istotną rolę odgrywają projekty w ramach programu „Horyzont 2020” (Bio-based Industries Consortium, 2018).

Rozwiązanie tych problemów umożliwiłoby głębszą synergię z Europejskim Funduszem na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich, Funduszem Morskim i Rybackim oraz Europejskim Funduszem Strukturalnym i Inwestycyjnym.

---

<sup>9</sup> <https://biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/downloads/Country-Report-Poland.pdf> (dostęp: 15.10.2019).



Biogospodarka, jako strategia jest uwzględniana w planach kilku polskich regionów: lubelskiego, łódzkiego, małopolskiego, mazowieckiego, podkarpackiego i pomorskiego, choć elementy biogospodarki jako składniki inteligentnych specjalizacji (IS) pojawiają się w planach strategicznych wszystkich województw, co przedstawiono w tabeli 4.1.

**Tabela 4.1.** Elementy biogospodarki jako składniki inteligentnych specjalizacji w strategiach rozwoju województw w Polsce

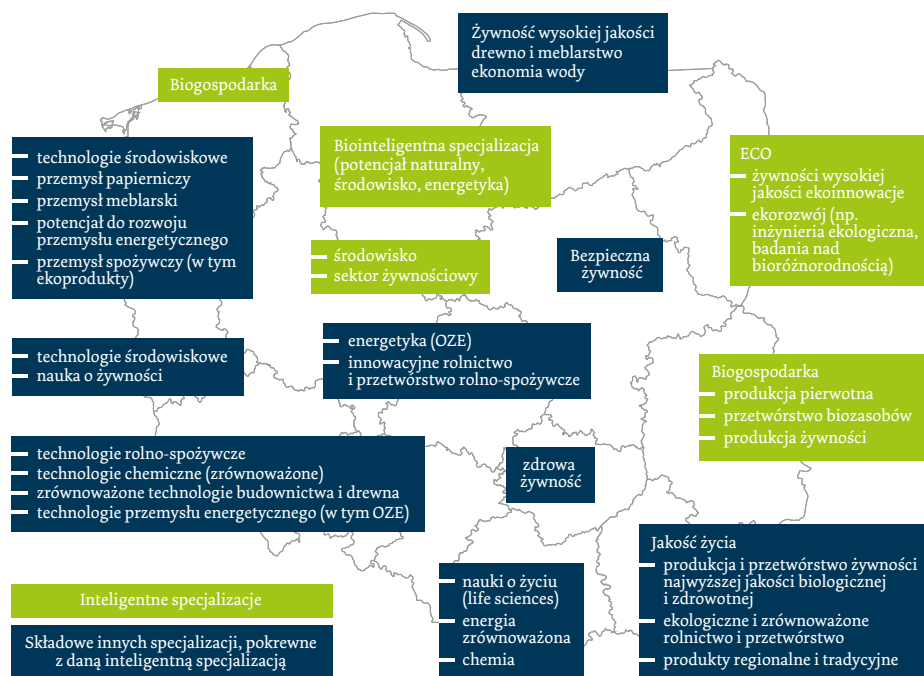
Specjalizacje biogospodarki	Województwa															
	dolnośląskie	kujawsko-pomorskie	lubelskie	lubuskie	łódzkie	małopolskie	mazowieckie	opolskie	podkarpackie	podlaskie	pomorskie	śląskie	świętokrzyskie	warmińsko-mazurskie	wielkopolskie	zachodnio-pomorskie
Biogospodarka, w tym:				+												+
Produkcja żywności	+	+	+	+	+		+	+	+	+			+	+	+	+
Przemysł nieżywnościowy		+	+	+				+						+	+	+
Źródła bioenergii		+	+	+	+	+			+	+	+	+	+			+
Jakość i bezpieczeństwo żywnościowe		+	+			+	+							+	+	+
Środowisko i bioróżnorodność	+	+	+	+				+	+		+	+			+	+
Biotechnologie, technologie chemiczne, inżynieria procesowa	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+			+	+
Wiedza, badania, instytucje łańcuch wartości i współpracy		+	+				+								+	+
Liczba podspecjalizacji w regionie	3	6	7	5	3	2	4	4	4	3	3	3	2	3	6	7

Źródło: dokumenty strategiczne rozwoju województw: strategie rozwoju województw, regionalne strategie innowacji, dokumenty wykonawcze do RIS3; za: Adamowicz 2016.

Na ważne znaczenie obszarów biogospodarki w inteligentnych strategiach regionu, poza województwami lubelskim i zachodniopomorskim, mającymi wszystkie podspecjalizacje, wskazały województwa kujawsko-pomorskie

i wielkopolskie, mające po 6 podspecjalizacji. Najslabiej podspecjalizacje z zakresu biogospodarki zostały uwzględnione w strategiach województw małopolskiego i śląskiego. Należy zauważyć, że wybór poszczególnych sektorów, produktów i usług jako potencjalnych obszarów IS wszędzie łączony był z procesem wdrażania innowacyjności oraz zrównoważonym modelem gospodarowania i rozwoju (Adamowicz 2016). Na rysunku 4.1 zaprezentowano graficzne ujęcie obszarów biogospodarki z uwzględnieniem region Polski.

**Rysunek 4.1.** Biogospodarka – inteligentne specjalizacje i składowe spokrewnione innych specjalizacji



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Dziemianowicz i in. 2014.

W wielu regionach atrakcyjną inteligentną specjalizacją może być biogospodarka zapewniająca zrównoważoną produkcję i przetwarzanie biomasy na szeroki zestaw produktów i usług żywnościowych, leczniczych, przemysłowych, energetycznych oraz usług wobec konsumentów, podmiotów gospodarczych i społecznych oraz środowiska. Polskie regiony w różnym zakresie wykorzystują możliwości wyboru i koncentracji działań na biogospodarce. Zastosowanie koncepcji biogospodarki jako IS w polityce rozwoju regionu może być wynikiem świadomej decyzji władz państwowych i samorządowych regionu oraz ich

zdolności do koordynacji i stworzenia efektywnej sieci współpracy między sektorami nauki, gospodarki i otoczenia biznesu oraz podmiotów gospodarczych (Adamowicz 2016).

## 4.2. Potencjał biogospodarki w Polsce

W 2015 r. biogospodarka generowała 4,2% PKB Unii Europejskiej i dawała zatrudnienie 8,2% siły roboczej (Ronzon i in. 2017). Sektor biogospodarki w Polsce opiera się przede wszystkim na tradycyjnych obszarach produkcji pierwotnej: rolnictwie, leśnictwie i produkcji żywności, w mniejszym stopniu na przemyśle chemicznym, biotechnologicznym i energetycznym. Tym niemniej 20% miejsc pracy w Polsce zapewnia biogospodarka, a wartość produkcji tego sektora to ok. 10% całkowitej wartości produkcji (Bio-based Industries Consortium 2018).

Sektor rolno-spożywczy zdominowany jest przez duże podmioty, zarówno krajowe, jak i zagraniczne. W 2016 r. rolnictwo odpowiedzialne było za produkcję 76% biomasy, czyli 61 mln ton (wobec 80 mln ton całkowitej produkcji biomasy). Polska jest siódmym<sup>10</sup> w Unii Europejskiej (UE-28) producentem rolnym w ujęciu według wartości produkcji. Według ewidencji geodezyjnej, w 2018 r. z ogólnej powierzchni kraju wynoszącej 31,3 mln ha, największą część, tj. 60,0% stanowiły użytki rolne (18,8 mln ha), w dalszej kolejności – grunty leśne – 30,5% (9,5 mln ha) oraz grunty zabudowane i zurbanizowane – 5,5% (1,7 mln ha). W Unii Europejskiej w 2017 r. całkowita powierzchnia użytków rolnych w gospodarstwach rolnych ukształtowała się na poziomie 181,6 mln ha, co stanowiło 41,1% ogólnej powierzchni wspólnoty. Wśród państw członkowskich UE największy udział użytków rolnych w gospodarstwach rolnych w powierzchni ogólnej danego kraju odnotowano w Wielkiej Brytanii – 71,7%, a najmniejszy w Finlandii – 6,7%. Polska z udziałem użytków rolnych w gospodarstwach rolnych na poziomie 46,3% zajęła 10. miejsce wśród krajów UE (GUS 2019, *Wskaźniki zielonej gospodarki*). Obszary rolne charakteryzuje duże rozdrobnienie: 51% gospodarstw to podmioty o mniejszej powierzchni niż 5 ha, tylko 5,2% gospodarstw osiąga rozmiary powyżej 30 ha i to właśnie ten niewielki odsetek przekłada się na ponad 41% całkowitych obszarów rolnych w kraju.

Dalsze 24% biomasy pochodzi z sektora leśnego (19 mln ton rocznie)<sup>11</sup>. W 2018 r. lasy w Polsce zajmowały obszar 9254,9 tys. ha. Ich powierzchnia

<sup>10</sup> Po Francji, Niemczech, Włoszech, Hiszpanii, Wielkiej Brytanii i Holandii.

<sup>11</sup> Niewielki wkład w produkcję biomasy mają też rybactwo i akwakultura. W 2017 r. pozyskane zostało 53,3 tys. ton ryb słodkowodnych oraz 207,5 tys. ton organizmów morskich (GUS 2018).

zwiększyła się w odniesieniu do 2017 r. i 2000 r. odpowiednio o 0,1% i 4,4%. W Unii Europejskiej w 2017 r. udział powierzchni gruntów leśnych wyniósł 38,2%. Najwyższą wartość tego wskaźnika odnotowano w Finlandii (73,1%), Szwecji (68,9%) i Słowenii (62,0%), zaś najniższą na Malcie (1,1%). Polska, ze wskaźnikiem 30,9%, uplasowała się na 19. pozycji wśród 28 państw członkowskich UE, należy więc do krajów o stosunkowo wysokim odsetku obszarów leśnych w Unii Europejskiej (GUS 2019, *Wskaźniki zielonej gospodarki*). Przewodzącym pod względem zalesienia jest województwo lubuskie (49,2%), w najmniejszym stopniu zalesione jest łódzkie (21,3%). Większość lasów stanowi własność publiczną, 77% obszarów leśnych podlega administracji Lasów Państwowych, zaledwie 19,2% to lasy prywatne. Poza dostarczaniem pulpy i papieru przemysł leśny obsługuje produkcję mebli, istotną dla gospodarki, gdyż Polska jest czwartym na świecie eksporterem tego dobra (Bio-based Industries Consortium 2018).

Biotechnologia, stanowiąca istotny obszar biogospodarki, wciąż jest stosunkowo rzadką działalnością na obszarze Polski. W 2016 r. wartość nakładów wewnętrznych podmiotów na badania i rozwój w obszarze biotechnologii wyniosła 652,3 mln zł, a prace te realizowało 6968 osób. Liczba przedsiębiorstw działających w obszarze biotechnologii rośnie jednak sukcesywnie – zarówno w odniesieniu do przedsiębiorstw wyłącznie produkcyjnych, jak i inwestujących w badania i rozwój (tabela 4.2).

**Tabela 4.2.** Przedsiębiorstwa działające w obszarze biotechnologii

Wyszczególnienie	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Liczba podmiotów w sektorze biotechnologii	91	90	122	126	160	184
Podmioty realizujące B+R	64	65	75	85	102	111

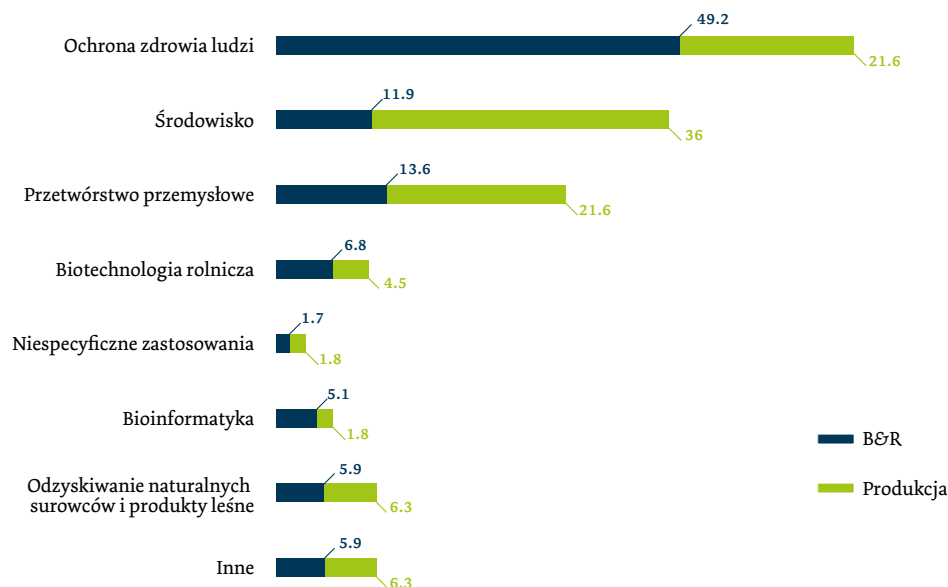
Źródło: GUS 2018.

Na rysunku 4.2 przedstawiono oszacowany udział podmiotów angażujących się w badania i rozwój oraz produkcję w odniesieniu do obszarów działalności biotechnologicznej w 2016 r.

W 2016 r. nakłady wewnętrzne na biotechnologię wyniosły 761,1 mln zł, co stanowiło znaczący – 23,1-procentowy spadek wobec roku wcześniejszego, wynikający ze spadku nakładów na działalność rozwojową i badawczą. Tym niemniej 43,5% przedstawicieli sektora biotechnologii nie dostrzega barier we wdrażaniu badań i rozwoju. Jeszcze wyższy poziom satysfakcji panuje w odniesieniu do produkcji, w przypadku której barier nie dostrzegają 68,7% respondentów. Wśród głównych problemów wymienianych przez

przedstawicieli podmiotów biotechnologicznych wskazywano: brak wykwalifikowanego personelu<sup>12</sup>, koszty innowacji, niewystarczającą dostępność informacji na temat nowych technologii oraz pozyskiwania funduszy (GUS 2018). Obok biotechnologii, możliwości innowacji i badań skupiają się w Polsce w następujących obszarach: rolnictwo, produkcja żywności i pasz, medycyna i farmacja, ochrona środowiska (wykorzystanie odpadów), produkcja energii z biomasy, biogazu i biopaliw oraz biomateriałów (Woźniak i Twardowski 2016). W tych obszarach działa w Polsce kilkadziesiąt klastrów (tabela 4.3).

**Rysunek 4.2.** Odsetek przedsiębiorstw według głównego obszaru zastosowania biotechnologii w 2016 r.



Źródło: GUS 2018.

Spośród wymienionych klastrów Zielona Chemia, LifeScience, NutriBiomed, Klaster Gospodarki Odpadowej i Recyklingu zostały wpisane na listę tzw. krajowych klastrów kluczowych (<https://www.gov.pl/web/przedsiębiorczosc-technologie/lista-kkk>, dostęp: 12.12.2019).

<sup>12</sup> W 2019 r. nabór na kierunek biogospodarka prowadziło tylko pięć uczelni publicznych w Polsce.

**Tabela 4.3.** Klastry i parki działające w obszarze biogospodarki

Nazwa klastra lub parku	Obszar działalności	Siedziba
Agro Cluster Kujawy	Produkcja rolna: żywność i bioenergia	Bydgoszcz
Bałtycki Klastr Ekoenergetyczny	Energetyka, odnawialne źródła energii, systemy ogrzewania	Gdańsk
Bio NanoPark	Usługi laboratoryjne	Łódź
Bio Tech med.	Biotechnologia, medycyna, farmacja	Warszawa
BioEcoChem	Biotechnologia, chemia, farmacja, kosmetyki i ochrona środowiska	Gdańsk
Bioenergia dla Regionu	Energetyka, odnawialne źródła energii, systemy ogrzewania	Konstantynów Łódzki
Clean Energy Małopolska-Podkarpacie	Energetyka, odnawialne źródła energii, systemy ogrzewania	Kraków
Dolnośląski Klastr Ekoenergetyczny	Energetyka, odnawialne źródła energii, systemy ogrzewania	Wrocław
Food Klastr	Produkcja żywności	Kalisz
Gdański Park Naukowo-Technologiczny	Farmacja, biotechnologia	Gdańsk
Klastr B+R&I	Badania i rozwój oraz innowacje w zakresie ochrony środowiska	Wrocław
Klastr biotechnologiczny Bio-Park	Biotechnologia	Gdańsk
Klastr Centrum Inżynierii Biomedycznej	Biotechnologie	Warszawa
Klastr Ekoinnowacje	Odnawialne źródła energii, systemy ogrzewania	Lublin
Klastr Gospodarki Odpadowej i Recyklingu	Gospodarka obiegu zamkniętego	Kielce
Klastr Innovative Medicine	Biomedycyna	Wrocław
Klastr Innowacyjne Strategie	Energetyka, odnawialne źródła energii, systemy ogrzewania	Katowice
Klastr Life-Science	Biotechnologie	Kraków
Klastr Medycyny Lubelskiej	Medycyna, farmacja	Lublin
Klastr Nutribiomed	Technologie produkcyjne dla żywności, biotechnologii i biomedycyny	Wrocław

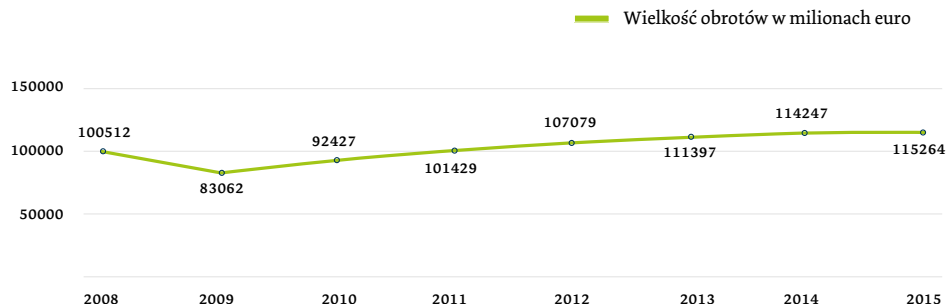
Nazwa klastra lub parku	Obszar działalności	Siedziba
Klaster South Poland Cleantech	Inteligentne specjalizacje, zielona energia, gospodarka obiegu zamkniętego, biogospodarka	Kraków
Lignum, Klaster Technologii Drewna	Przemysł drzewny	Warszawa
Lubelski Klaster Ekoenergetyczny	Odnawialne źródła energii i systemy ogrzewania	Lublin
MedSilesia	Wyroby medyczne	Gliwice
Ogranic Food Valley	Żywność ekologiczna	Lublin
Powearth Ogólnopolski Klaster Technichno-Technologiczny	Energetyka, odnawialne źródła energii, systemy ogrzewania	Katowice
Poznański Park Naukowo-Technologiczny	Farmacja, biotechnologia	Poznań
Północno-Wschodni Klaster Ekoenergetyczny	Energetyka, odnawialne źródła energii, systemy ogrzewania	Białystok
Prosument Klaster OZE	Energetyka, odnawialne źródła energii, systemy ogrzewania	Lubraniec
Śląski Klaster Gospodarki Odpadami	Gospodarka obiegu zamkniętego	Katowice
Waste-Cluster	Gospodarka obiegu zamkniętego	Poznań
You Nick	Farmacja, biotechnologia	Poznań
Zielona chemia	Biogospodarka, opakowania, odzysk materiałów i energii oraz zdrowa żywność	Szczecin

Źródło: opracowanie własne.

Biogospodarka stanowi dla Polski potencjalny kluczowy sektor. Uwzględniając wielkość obrotów we wszystkich jej sektorach (rys. 4.3), w 2015 r. wyniosły one 115 264 mln euro, co ulokowało Polskę na 6. miejscu w Unii Europejskiej po Niemczech (388 849 mln euro), Francji (333 002 mln euro), Włoszech (296 895 mln euro), Wielkiej Brytanii (227 929 mln euro) i Hiszpanii (198 455 mln euro) ([ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland\\_en](http://ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland_en), dostęp: 12.12.2019).

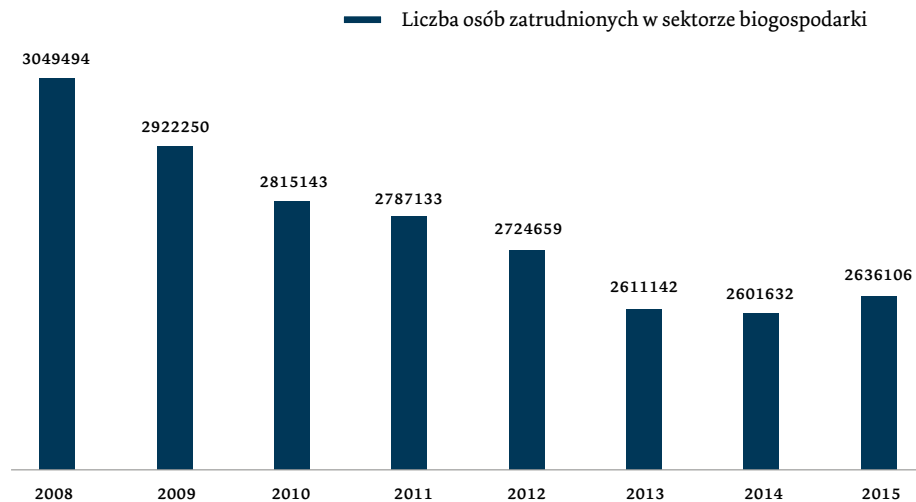
Warto dodać, że to właśnie w Polsce, w sektorze szeroko rozumianej biogospodarki znajduje pracę największa liczba osób w porównaniu z tym sektorem we wszystkich krajach członkowskich Unii Europejskiej. Mimo to ogólna tendencja do zatrudniania w sektorze w latach 2008–2015 była spadkowa (rys. 4.4).

**Rysunek 4.3.** Wielkość obrotów we wszystkich sektorach biogospodarki w Polsce, w latach 2008–2015



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych: [ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland\\_en](http://ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland_en) (dostęp: 19.12.2019).

**Rysunek 4.4.** Liczba osób zatrudnionych w sektorze biogospodarki w Polsce w latach 2008–2015

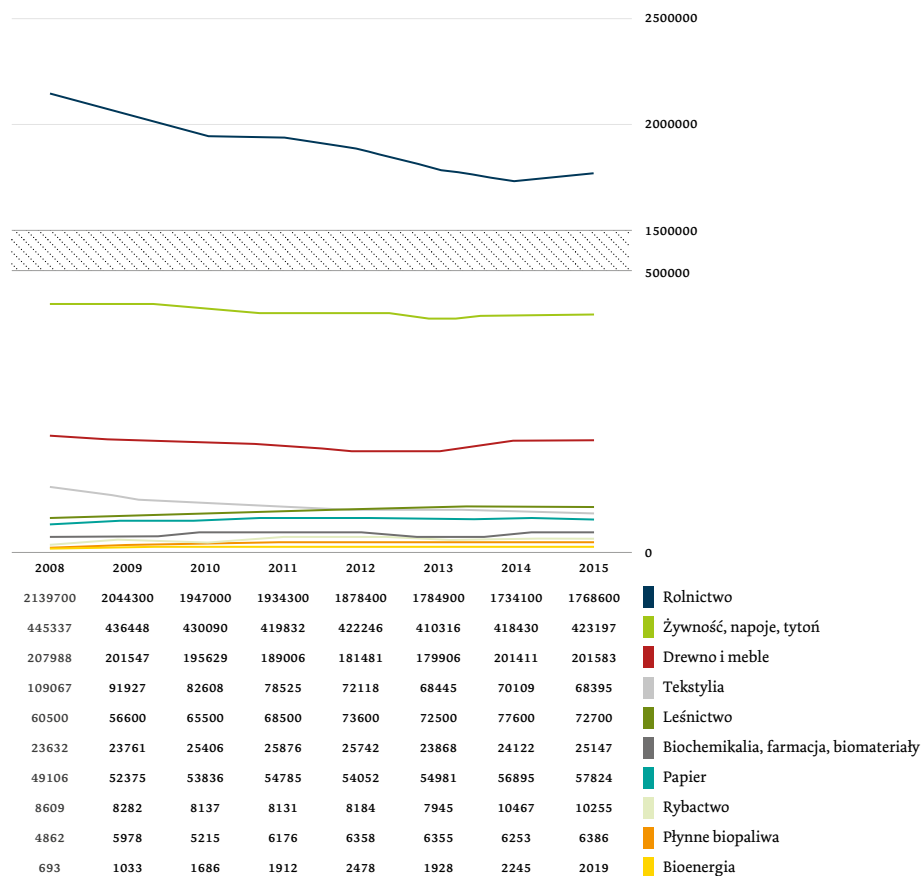


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych: [ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland\\_en](http://ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland_en) (dostęp: 2.02.2020).

Malejąca liczba osób zatrudnionych w biogospodarce wynika przede wszystkim z wyraźnego odpływu pracowników rolnictwa. Poziom zatrudnienia w sektorach chemicznym, farmaceutycznym, bioplastików, biomateriałów, bioenergii oraz leśnym w omawianym okresie wykazywał tendencję wzrostową. Mimo to zasadniczą większość zatrudnionych w biogospodarce stanowili pracownicy rolnictwa, co przedstawiono na rysunku 4.5.



**Rysunek 4.5.** Liczba osób zatrudnionych w specyficznych sektorach biogospodarki w Polsce w latach 2008–2015

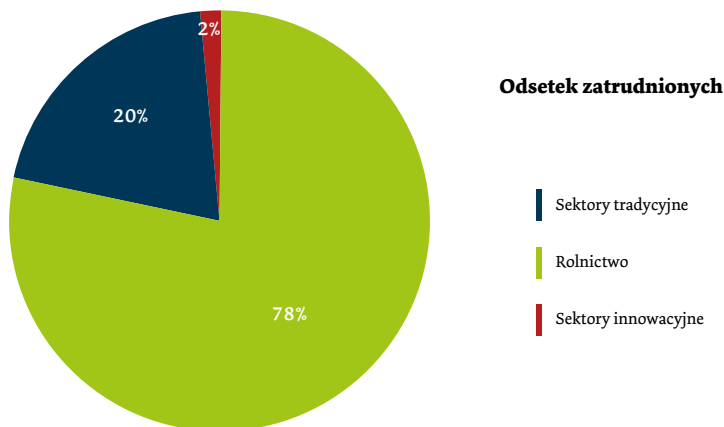


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych: [ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland\\_en](http://ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland_en) (dostęp: 19.12.2019).

Zatrudnienie w sektorze pozarolniczym biogospodarki nadal stanowi niewielki odsetek. Sektory w większym stopniu opierające się na innowacjach – biochemikaliów, farmacji, biomateriałów, bioenergii i biopaliw, w porównaniu z tradycyjnymi stanowią praktycznie niszę zatrudnienia (rys. 4.6).

Średniookresowe tempo zmian zatrudnienia we wszystkich gałęziach biogospodarki pokazuje pewną tendencję. Dynamika wzrostu zatrudnienia sektorów bioenergetycznych jest stosunkowo najwyższa. Wysoka dynamika odnotowana została też w niewielkiej gałęzi rybactwa oraz leśnictwa i produkcji papieru. Nieco niższą dynamikę wzrostu zatrudnienia odnotowano w gałęzi biochemikaliów, farmaceutycznym i biomateriałów.

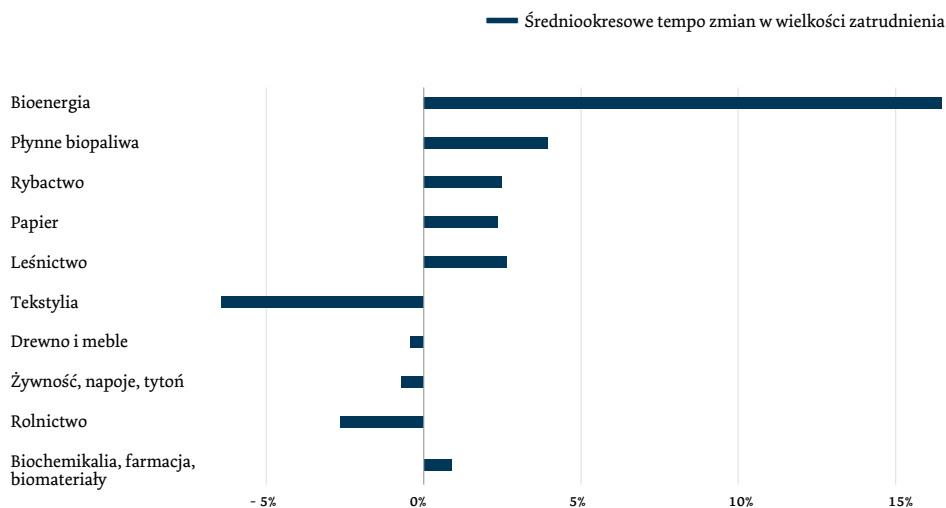
**Rysunek 4.6.** Udział zatrudnienia w rolnictwie, tradycyjnych i innowacyjnych sektorach biogospodarki w Polsce



Uwaga: Wyodrębnione trzy obszary innowacyjności są wskazane w sposób schematyczny. Innowacje mogą pojawiać się we wszystkich sektorach, zastosowany podział ma na celu ukazanie specyficznej struktury biogospodarki w Polsce, a w działalności zakwalifikowanej do innowacyjnych sektorów konieczne jest korzystanie z bardziej rozwiniętych technologii przetwórstwa.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych: [ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland\\_en](http://ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland_en) (dostęp: 22.12.2019).

**Rysunek 4.7.** Średniookresowe tempo zmian zatrudnienia w gałęziach biogospodarki



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych: [ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland\\_en](http://ec.europa/knowledge4policy/bioeconomy/country/Poland_en) (dostęp: 10.09.2019).

W latach 2008–2014 zauważalny był spadek zatrudnienia w sektorze biogospodarki, najszybciej proces ten następował w przemyśle tekstylnym, rolnictwie oraz przemyśle spożywczym. Należy podkreślić, że wciąż to tradycyjne sektory gwarantują najwięcej miejsc pracy, często nisko płatnej i niewymagającej wysokich kompetencji, natomiast dynamika zatrudnienia najwyższa jest w obszarach wymagających wyższego poziomu innowacyjności, co należy uznać za pozytywne zjawisko.

### 4.3. Analiza sytuacji biogospodarki w Małopolsce

Małopolska stanowi dynamicznie rozwijający się region o wysokim potencjale ekonomicznym. Jej atrakcyjne tereny, liczące 15 200 tys. km<sup>2</sup>, zachęcają przedsiębiorców do inwestowania. Województwo zamieszkuje 3,33 mln osób, charakteryzuje się ono wysokim przyrostem naturalnym. Na tle innych województw w Polsce obszar Małopolski należy do najprężniejszych gospodarczo, co potwierdza wysokie miejsce regionu w rankingu *European Cities & Regions of the Future 2012/2013* czy „Atrakcyjność inwestycyjna polskich regionów 2012”, które skupiają się na gałęzi przemysłowej, kosmetycznej, handlowej i naukowo-badawczej. Inwestycje zagraniczne w latach 1989–2012 wyniosły tu ok. 15 mld USD, a wartość eksportu w tym okresie – 6 mld euro. Przewidywane dofinansowanie z Unii Europejskiej w latach 2014–2020 wynosiło 3 mld euro. Fundusze te miały zostać wykorzystane na rozbudowę infrastruktury, poprawę jakości środowiska, rozwijanie nowych technologii i wsparcie przedsiębiorstw. Województwo małopolskie ma wysoki potencjał społeczno-gospodarczy. To tutaj wytwarzane jest 8% krajowego PKB i to tu prowadzi działalność ponad 382 tys. podmiotów gospodarczych. Region ten jest także wyjątkowy ze względu na zróżnicowane złoża surowców mineralnych, takich jak: wapień, sól kamienna, wody mineralne i geotermalne. Podkreśla się, że obszar Małopolski specjalizuje się także w dziedzinach, które ukazują potencjał tego miejsca: *life science*, zrównoważona energia, technologie informacyjne i komunikacyjne, chemia, produkcja wyrobów metalowych oraz mineralnych, elektrotechnika i przemysł maszynowy, przemysły kreatywne oraz czasu wolnego (*Województwo małopolskie 2017*).

Kolejnym kluczowym czynnikiem tworzącym potencjał województwa małopolskiego jest rolnictwo. Polska jest bogata w użytki rolne, a tereny wiejskie są obfite w zasoby przyrody, z imponującą bioróżnorodnością. Gospodarstwa rolne w Małopolsce stanowią ok. 44% ogólnej powierzchni województwa. Charakterystyczną ich cechą jest duże rozdrobnienie, co oznacza, że tereny te są użytkowane głównie przez gospodarstwa posiadające zaledwie 3–4 ha.

W porównaniu ze średnią w Polsce jest to najniższy wskaźnik. Rolnicy zabiegają o korzystanie z usług ekosystemów, przywracanie żyzności gleby, gospodarowanie odpadami, zwiększanie bezpieczeństwa żywności i polepszanie jej jakości. Współczesne rolnictwo bazuje na coraz to nowocześniejszych metodach prowadzenia działalności zrównoważonej i proekologicznej, chroniąc przyrodę i ograniczając zanieczyszczanie jej zasobów. Dzięki takim działaniom można zachować różnorodność genetyczną. To właśnie rolnictwo jest odpowiedzialne za produkcję biomasy, która jest najbardziej przyjazna i dogodna, jeśli chodzi o substytucję zasobów energii nieodnawialnej. Tereny te są dlatego tak istotne dla województwa małopolskiego i dają szanse na innowacje w produkcji energii (*Potencjał Małopolski* 2018a).

Dobrym przykładem działalności województwa małopolskiego w obszarze biogospodarki jest zaangażowanie w unijną inicjatywę „Awangarda”, która została zapoczątkowana w listopadzie w 2013 r., zrzeszając 35 wysoko rozwiniętych i innowacyjnych regionów Unii Europejskiej. Małopolska należy do jednego z dziesięciu inicjatorów „Awangardy”, jednocześnie jest jedynym regionem z Polski, który bierze udział w tym działaniu. Projekt opiera się na opracowanej strategii działania, której głównym celem jest rozwój. Pomysł umożliwi nawiązywanie nowych biznesowych kontaktów, które bazują na podejmowaniu wspólnych decyzji, ułatwia dostęp do finansowania projektów, koncentruje się na poszukiwaniu rozwiązań dotyczących publicznych i prywatnych rozwiązań, umożliwia wdrażanie innowacyjnych strategii w celu poprawy współpracy między regionami, angażuje w realizację polityki europejskiej. Korzyści wynikające z udziału w projekcie odnoszą zarówno przedsiębiorcy, jak i województwo. Inwestorzy mają możliwość korzystania ze środków finansowych z UE, obniżenia wydatków związanych z testami i certyfikatami. Dodatkowo mają lepszy dostęp do innowacyjnych technologii oraz możliwość udziału w konferencjach zrzeszających partnerów z różnych krajów. Udział w projekcie jest dla nich szansą rozwoju. Dzięki inicjatywie zyskuje również sam region, ponieważ wyraża ona opinię na tematy wielu programów biznesowych i projektów, jest wzorcem i wyznacza trendy w dziedzinie nowoczesnych specjalizacji, pozwala na wykorzystanie doświadczeń innych regionów, umożliwiając przepływ informacji i podzielenie się doświadczeniami, integruje małopolskie przedsiębiorstwa z partnerami zrzeszonymi i przede wszystkim nadaje województwu prestiż jako najbardziej innowacyjnemu regionowi Polski. Udział regionu w inicjatywie „Awangarda” świadczy o dostrzeżeniu jego ogromu potencjału w środowisku międzynarodowym (*Potencjał Małopolski* 2018a).

Inicjatywa „Awangarda” o charakterze politycznym, ma na celu promowanie regionalnych inteligentnych specjalizacji oraz współpracy międzyregionalnej opartej na klastrach, jako głównych elementach programu UE na rzecz odnowy

przemysłu. Jej celem jest współkształtowanie przyszłych kierunków rozwoju polityki UE. Warto zaznaczyć, że inicjatywa ta rozwijała się w ramach ścisłego dialogu z Komisją Europejską (KE) (*Inicjatywa Awangarda* 2018).

W dniu 13 listopada 2014 r. w Mediolanie podpisana została przez liderów politycznych (26 regionów) tzw. deklaracja mediolańska. Małopolska, na mocy decyzji Sejmiku, podpisała deklarację mediolańską w Brukseli 16 kwietnia 2015 r.

Deklaracja mediolańska zobowiązuje regiony do podejmowania działań na rzecz (*Deklaracja... 2015*):

- 1) budowy i wspierania międzyregionalnych sieci współpracy, które umożliwią podejmowanie wspólnych inwestycji w priorytetowych dla Europy dziedzinach (np. projekty pilotażowe w obszarach ujętych w strategiach inteligentnych specjalizacji, w tym dotyczące zaawansowanych technologii wytwarzania);
- 2) ułatwiania dostępu do finansowania łączonego dla projektów współfinansowanych przez różnych partnerów tak, aby wykorzystywać synergię pomiędzy regionalnymi, krajowymi i europejskimi instrumentami wspierającymi współpracę międzyregionalną;
- 3) poszukiwania rozwiązań zmierzających do zwiększania publicznych i prywatnych inwestycji w projekty pilotażowe i demonstracyjne realizowane przez klastry przemysłowe (przy udziale Europejskiego Banku Inwestycyjnego/Europejskiego Funduszu Inwestycyjnego);
- 4) wdrażania strategii inteligentnych specjalizacji w taki sposób, aby przyczyniać się do poprawy koordynacji działań pomiędzy regionami, klastrami tworzonymi oddolnie oraz europejskimi programami partnerskimi (także przez rozwój nowych polityk wspierających specyficzne sektory i inicjatywy);
- 5) zaangażowania w realizację europejskiej polityki klastrowej, poprzez rozwój inteligentnych specjalizacji i udział w projektach pilotażowych, które rozwijają międzyregionalną współpracę klastrów.

#### **Fiszka: przykłady**

Obecnie trwają prace nad siedmioma wersjami demonstracyjnymi z szerokim spektrum podejść i tematów, od inwestycji na dużą skalę, po rozbudowane tworzenie sieci mniejszych infrastruktur (*Vanguard Initiative* 2019), takich jak: **rafineria lignocelulozy, bio-aromatic, biogaz, biopaliwa lotnicze, pokarm i pasza, składniki z alg.**

**Rafineria lignocelulozy.** Długookresowym celem jest ustanowienie europejskiego łańcucha wartości od lignocelulozy do produktów końcowych wykorzystujących biotechnologię. Zostanie to zrealizowane poprzez przekształcenie pelletów drzewnych, resztek agro i innych źródeł lignocelulozy w cukry C5-C6 i ligninę.

Główny region: prowincja Zuid-Holland – delta biologiczna.

Regiony uczestniczące: Brandenburgia (Niemcy), Flandria (Belgia), Walonia (Belgia), Baden-Württemberg (Niemcy), Szkocja (Centrum Biotechnologii Innowacji Przemysłowych – IBiolC), Górna Austria (Austria), Navarra (Hiszpania), Värmland (Szwecja), Skåne (Szwecja), Emilia Romagna (Włochy).

**Bio-aromatics.** Długoterminowym celem jest utworzenie wielu łańcuchów wartości, zaczynając od surowców (rafinerie lignocelulozy), obróbki termochemicznej biomasy, konwersji cukru lub linii demielinizacji ligniny, a następnie wprowadzając innowacyjne, aż po nowe zastosowania w dziedzinie chemikaliów, materiałów i produktów. Zastosowania obejmują: tekstylia, żywice, kleje, powłoki, środki powierzchniowo czynne, emulgatory, przeciwutleniacze, środki dyspergujące, kleje, płyty panelowe/laminaty, opony, kosmetyki, farby/atramenty oraz zastosowania w aromatach i zapachach, żywność i pasze, środki farmaceutyczne, drobne chemikalia, płyty/laminaty, opony, farby i tusze, polimery i wreszcie kompozyty.

Główne regiony: Flandria (Holandia Południowa), Nordrhein-Westfalia.

Regiony uczestniczące: Emilia Romagna (Szkocja), Walonia (Belgia), Brandenburgia, Värmland, Środkowa Finlandia, Górna Austria, (Słowenia i Kraj Basków).

**Przekształcanie gazów odlotowych.** Ogólnym celem projektu pilotażowego jest pokazanie potencjału wykorzystania przemysłowych gazów odlotowych do produkcji chemikaliów poprzez konwersję gazu, ze szczególnym uwzględnieniem nowych technologii przetwarzania gazów odlotowych w przemyśle na syntetyczne chemikalia o wysokiej wartości dodanej.

Główny region: Flanders/Flanders Biobased Valley).

Regiony uczestniczące: Nadrenia Północna-Westfalia/CLIB2021, NOVA; Emilia Romagna/ASTER, LEAP; Badenia-Wirtembergia/BIOPRO, Uniwersytet w Ulm; Navarra/CENER, ADItech, UPNA; Walonia/Greenwin; Szkocja/Ingenza; Południe-Holandia/WUR; Norte/University of Minho; Południowa Dania/Danmarks Tekniske Universitet.

**Biogaz.** Głównym celem tego projektu jest przyspieszenie rozwoju branży biogazowej w kierunku mniejszej zależności od publicznych zachęt i szerszej gamy produktów rynkowych.

Główny region: Lombardia Lombardy Green Chemistry Association.

Regiony uczestniczące: Skåne/Region + Renewable Energy Technology International AB, Lombardia/Università di Milano, Consorzio Italiano Biogas, Università Milano Bicocca, Regione Lombardia, Politecnico di Milano, Lombardy Energy Cluster, Brandenburg/maxbiogas GmbH, Finlandia Zachodnia/Instytut Zasobów Naturalnych Finlandia, Navarra/CENER – National Renewable Energy Centre, AIN – Asociación de la Industria de Navarra, Asturia/Klaster Energii, Środowiska i Zmiany Klimatu, Nordrhein-Westfalen/Clib2021, Małopolska Energy/Solutions Sp. ogród zoologiczny, Emilia Romagna/CRPA, Baden-Württemberg/BIOPRO Baden-Württemberg GmbH, Brandenburg/biorefinery.de, Wallonia/Valbiom, GreenWin, Randstad Regio/Wageningen University, Górna Austria/Wood Kplu.

**Biopaliwa lotnicze.** Długoterminowym celem projektu pilotażowego jest rozwój europejskiego międzyregionalnego łańcucha wartości, który koncentruje się na promowaniu produkcji biopaliw lotniczych na większą skalę. Celem jest także podniesienie jakości wersji demo (TRL 5/6), która wymaga różnych kroków zarówno na poziomie projektu, jak i procesu.

Główny region: Värmland/Paper Province.

Regiony uczestniczące: Skåne, North-Rhein-Westfalen, Vlaanderen, Południowa Holandia, Szkocja.

**Pokarm i pasza, składniki z alg.** Celem tego projektu jest stworzenie miejsca demonstracyjnego do uprawy i zwiększenia hodowli mikroalg z fotobioreaktorów w celu produkcji żywności na dużą skalę (nutraceutyków), paszy (białka) i związków farmaceutycznych (antybiotyki).

Główny region: Asturias/University of Oviedo.

Regiony uczestniczące: Walonia (CELABOR SCRL, Materia Nova, Uniwersytet w Liege), Navarra (Aditech), Lombardia (Uniwersytet Mediolański, Parco Tecnologico Padano), Emilia Romagna (Uniwersytet Boloński Alma Mater, Konsorcjum ASTER), Prowansja-Alpy-Lazurowe Wybrzeże (Grupa Vertech), Flandria (Flandria Dolina Biobased) Nord-Pas de Calais (Pôle Aquimer), Galicja, Szkocja.

Wartość produktu krajowego brutto w cenach bieżących w Małopolsce w 2015 r. wyniosła 142 109 mln zł, co w przeliczeniu na jednego mieszkańca (PKB *per capita*) daje 42 160 zł. Wartość ta pozwoliła Małopolsce uplasować się, podobnie jak w poprzednich latach, na 5. miejscu wśród województw. Szacuje się, że w województwie wypracowano niemal 8% ogólnopolskiego PKB. Na koniec 2016 r. w województwie zarejestrowanych było 371,1 tys. podmiotów gospodarczych w systemie REGON. W porównaniu z 2015 r. liczba podmiotów zwiększyła się o 7,2 tys. (wzrost o 2,0%). Zarejestrowane podmioty stanowią 8,7% wszystkich podmiotów w Polsce, co daje Małopolsce od kilku lat stabilne, 4. miejsce spośród pozostałych regionów, za Mazowszem, Śląskiem i Wielkopolską. Sektor prywatny skupiał 359,9 tys. podmiotów, tj. 97,0% ogólnej ich liczby, a sektor publiczny 7,9 tys. W ujęciu rocznym liczba podmiotów sektora prywatnego wzrosła o 2,0%, a podmiotów sektora publicznego – o 0,6%. W ostatnich 10 latach w województwie małopolskim obserwowany był stały wzrost liczby podmiotów wpisanych do rejestru REGON.

W 2016 r. w województwie małopolskim utrzymała się zwyżkowa tendencja produkcji sprzedanej przemysłu. Wyniosła ona 84 mld zł i była wyższa od wartości z 2015 r. o 2,8 mld zł (3,6%). W systemie REGON zarejestrowanych było 38 015 podmiotów prowadzących działalność przemysłową. Ogółem podmioty przemysłowe na tle wszystkich innych przedsiębiorstw w Małopolsce stanowią 10,2% (spadek o 0,2%). Nakłady inwestycyjne w przemyśle w Małopolsce spadły o 7,1% w porównaniu z 2015 r. Jest to pierwszy spadek w inwestycjach przemysłowych od 2013 r. po dwóch latach regularnych wzrostów. Nakłady inwestycyjne spadły poniżej 6000 mln i wyniosły 5709 mln zł (Województwo Małopolskie 2017).

Główny potencjał Małopolski w zakresie biogospodarki koncentruje się na takich obszarach, jak biotechnologia oraz produkcja rolna, w tym produkcja biomasy oraz olejów roślinnych.

Znaczenie Małopolski dla sektora przemysłu opartego na biotechnologii zaznacza się szczególnie w sektorze biogospodarki w obiegu zamkniętym:

biorafinerie i energia, przetwarzanie biomasy, ponowne wykorzystanie odpadów, synteza organiczna (w tym mikroorganizmy modyfikowane genetycznie GMM), biotechnologia. Główne firmy działające w tym obszarze według BIC to: Azoty Grupa SA, Synthos SA, CP Recycling Organizacja Odzysku Opaków SA, Elteco Poland SA (tabela 4.4).

**Tabela 4.4.** Przykłady działalności małopolskich przedsiębiorstw w obszarze biogospodarki

Nazwa przedsiębiorstwa	Rodzaj działalności
Orlen Południe SA	<p>Działalność biznesowa Orlen Południe SA koncentruje się na głównych segmentach produktowych związanych z produkcją i sprzedażą biopaliw i biokomponentów, parafin oraz rozpuszczalników.</p> <p>Istotnym obszarem działalności jest produkcja estrów metylowych oraz gliceryny farmaceutycznej. Gliceryna powstaje w procesie produkcji biodiesla (wykorzystywane są oleje rzepakowe). Alkaliczna gliceryna surowa jest neutralizowana kwasem siarkowym i poddawana procesowi oddzielenia wolnych kwasów tłuszczowych. Otrzymana w ten sposób gliceryna techniczna może być sprzedawana, lub poddawana dalszej obróbce do uzyskania koncentracji powyżej 99,5%.</p> <p>Orlen Południe w ramach swojej działalności biznesowej zajmuje się także regeneracją olejów przepracowanych w kierunku wysokiej jakości głęboko rafinowanych olejów bazowych, stosowanych do produkcji olejów smarowych. Zdolności regeneracji olejów przepracowanych/odpadowych są na poziomie 80 tys. ton na rok.</p>
MMPH GAL	<p>Firma zajmuje się projektowaniem i budową urządzeń do produkcji biokomponentów, a także głębokiego przerobu frakcji olejów mineralnych. Aktywna działalność spółki przejawia się głównie w handlu surowcami do produkcji biokomponentów oraz produktami pochodnymi, w tym gliceryną i frakcjami. Spółka wyspecjalizowała się w obrocie odpadami biodegradowalnymi, takimi jak olej posmażalniczy (UCO) i odpady gastronomiczne. Działalność handlowa dotyczy nie tylko krajów europejskich, ale także aktywności poza Unią.</p>
DuPont Performance Polymers	<p>Firma współpracuje z klientami, aby opracowywać odnawialne polimerowe materiały wsadowe pozyskiwane z biomasy pochodzenia nieżywnościowego oraz z innych źródeł w celu zmniejszenia uzależnienia od paliw kopalnych. Firma DuPont opracowuje przemysłowe rozwiązania biotechnologiczne, dążąc do uzyskania produktów o optymalnych parametrach wydajnościowych oraz do minimalizacji wpływu tych produktów na środowisko.</p>



Nazwa przedsiębiorstwa	Rodzaj działalności
Synthos SA	Firma jest jednym z największych producentów surowców chemicznych w Polsce i pierwszym w Europie producentem kauczuków emulsyjnych oraz największym europejskim producentem polistyrenu do spieniania. Spółka posiada w sprzedaży dużą ilość monostearynianu gliceryny, stearynianu magnezu i trójstearynianu gliceryny, które mogą posłużyć jako surowce do produkcji PHA.
Synthos CARE	Przedsiębiorstwo prowadzi badania i innowacje na pograniczu chemii i biotechnologii. Zespół badawczy ulokowany jest w Jagiellońskim Centrum Innowacji w Krakowie, gdzie korzystając z głębokiej wiedzy specjalistów z dziedziny biotechnologii i nanotechnologii, rozwija zaawansowane systemy nośników substancji aktywnych (liposomy) przeznaczonych do kosmetyków, suplementów diety i farmaceutyków.
Grupa Azoty	To obecnie nie tylko cztery największe zakłady chemiczne w Polsce: z Tarnowa, Puław, Polic i Kędzierzyna-Koźła. W skład Grupy wchodzi także blisko 60 innych polskich firm. Grupa Azoty jest dziś liderem branży chemicznej w Polsce oraz ma znaczącą pozycję w Unii Europejskiej (głównie produkuje nawozy i poliamidy). Segment tworzyw (poliamidy) jest drugim co do ważności segmentem w Grupie Azoty (Tarnów i Guben w Niemczech).

Źródło: opracowanie własne.

Małopolska charakteryzuje się wysokim potencjałem naukowo-badawczym i edukacyjnym szkolnictwa wyższego – Kraków jest drugim ośrodkiem badawczo-rozwojowym w Polsce (*Potencjał Małopolski* 2018b).

W sferze badań i rozwoju pozycja Małopolski przedstawia się stosunkowo korzystnie na tle innych regionów Polski. Województwo małopolskie zajmowało w 2015 r. 2. miejsce w kraju zarówno pod względem łącznych nakładów wewnętrznych poniesionych na B+R, które wyniosły 2118,6 mln zł, jak i nakładów na 1 mieszkańca (628,5 zł). Małopolska w 2015 r. uplasowała się na 2. miejscu pod względem wielkości wskaźnika intensywności GERD/PKB (1,49%) oraz na 4. miejscu, jeżeli chodzi o wskaźnik BERD/PKB (0,66%) (*Województwo Małopolskie* 2017).

W Małopolsce znajduje się ponad 100 ośrodków badawczo-rozwojowych, m.in. Instytut Odlewnictwa, Instytut Ekspertyz Sądowych, Instytut Nafty i Gazu, Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania. Ponadto obecne są liczne ośrodki badawcze i projektowe międzynarodowych koncernów: ABB, Google, Cisco, CH2M, Centrum Badawczo-Rozwojowe Teva, Centrum Badawcze Comarch, Centrum Badawczo-Rozwojowe Synthos, Centrum Techniczne Delphi, Europejskie Centrum Rozwoju Oprogramowania Sabre.

**Tabela 4.5.** Przykłady projektów naukowo-badawczych w obszarze biogospodarki realizowanych w Małopolsce

Wybrane naukowo-badawcze projekty realizowane w regionie w obszarze biogospodarki realizowane w Małopolsce
<p>Tytuł projektu: Program gospodarki odpadami komunalnymi w Krakowie.</p> <p>Opis projektu: Zrealizowany w ramach programu operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko” (POLiŚ). Jednym z celów projektu była budowa w Krakowie Wytwórni Odpadów Termicznych (Ekospalarnia) o rocznej wydajności 220 tys. ton odpadów, gotowości do pracy 8 tys. h/rok oraz możliwości produkcji energii w kogeneracji.</p> <p>Wartość projektu: 826 905 444,43 zł, wkład własny KHK SA (ok. 301 mln zł), pożyczka z NFOŚiGW (298,230,000 zł).</p> <p>Razem subsydiowane: 371 728,053 zł.</p> <p>Źródło finansowania: Fundusz Spójności w ramach programu operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko 2007–2013”.</p> <p>Czas trwania projektu: 2008–2015.</p> <p>Strona internetowa: <a href="https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/informacja-o-projekcie">https://khk.krakow.pl/pl/ekospalarnia/informacja-o-projekcie</a>.</p>
<p>Tytuł projektu: Rozbudowa i przebudowa oczyszczalni ścieków.</p> <p>Opis projektu: Projekt obejmuje budowę linii technologicznej do przetwarzania osadów ściekowych, budowę suszarni słonecznej do osadów ściekowych, urządzeń do produkcji i przetwarzania biogazu na potrzeby elektryczności i ogrzewania, a także montaż i uruchomienie kogeneracji jednostka. Ponadto drugim zadaniem inwestycyjnym jest budowa inteligentnych systemów sterowania i nadzoru nad wodociągami i kanalizacją.</p> <p>Wartość projektu: 93 763 338,63 zł.</p> <p>Wysokość dofinansowania: 46 210 21,12 zł.</p> <p>Źródło finansowania: Fundusz Spójności w ramach programu operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko 2014–2020”.</p> <p>Czas trwania projektu: 2017–2020.</p> <p>Strona internetowa: <a href="http://mpwikbochnia.pl/index.php/rozbudowa-i-przebudowa-ciagu-technologicznego-na-oczyszczalni-sciekow-w-bochni-wraz-z-wykorzystaniem-odnawialnych-zrodel-energii-i-usprawnieniem-zarzadzania-majatkciem-sieciowym">http://mpwikbochnia.pl/index.php/rozbudowa-i-przebudowa-ciagu-technologicznego-na-oczyszczalni-sciekow-w-bochni-wraz-z-wykorzystaniem-odnawialnych-zrodel-energii-i-usprawnieniem-zarzadzania-majatkciem-sieciowym</a>.</p>
<p>Tytuł projektu: Budowa instalacji odazotowania spalin kotłów nr 3 i 4 w EDF Polska SA Oddział nr 1 w Krakowie.</p> <p>Opis projektu: Projekt obejmuje zaprojektowanie, budowę i uruchomienie kompletnych nowoczesnych systemów odazotowania spalin dla kotłów węglowych i na biomasę w Elektrociepłowni Kraków. Sprzęt ma zapewnić redukcję tlenków azotu podczas spalania paliwa pierwotnego i współspalania biomasy.</p> <p>Wartość projektu: 178 799,503,50 zł.</p> <p>Razem subsydiowane: 20 000 000 zł.</p> <p>Źródło finansowania: Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego w ramach programu operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko 2007–2013”.</p> <p>Czas trwania projektu: 2013–2016.</p> <p>Strona internetowa: <a href="http://mapadotacji.gov.pl/projekt/1273673">http://mapadotacji.gov.pl/projekt/1273673</a>.</p>

Wybrane naukowo-badawcze projekty realizowane w regionie w obszarze biogospodarki realizowane w Małopolsce
<p>Tytuł projektu: Budowa mechaniczno-biologicznego przerobu zmieszanych odpadów komunalnych w gminie Bolesław.</p> <p>Opis projektu: Przedsięwzięcie zrealizowane w Zakładzie Gospodarki Komunalnej „Bolesław” Sp. z o.o. (przedsiębiorstwo użyteczności publicznej) w Bolesławiu. Podstawowym celem była rozbudowa i modernizacja infrastruktury ochrony środowiska w zakresie gospodarki odpadami. Projekt obejmował budowę hali procesowej, kompostowni i towarzyszącej jej infrastruktury.</p> <p>Wartość projektu: 28 616 000,42 zł.</p> <p>Razem subsydiowane: 16 253 577,27 zł.</p> <p>Źródło finansowania: Fundusz Spójności w ramach programu operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko 2007–2013”.</p> <p>Czas trwania projektu: 2014–2015.</p> <p>Strona internetowa: <a href="http://www.zgkboleslaw.com/index.php/jrp/zadania-kontrakty">http://www.zgkboleslaw.com/index.php/jrp/zadania-kontrakty</a>.</p>
<p>Tytuł projektu: Utworzenie Centrum Innowacji Żywnościowych w Konspol Holding Sp. z o.o.</p> <p>Wartość projektu: 101 914 508,52 zł.</p> <p>Razem subsydiowane: 23 200 050,72 zł.</p> <p>Program: program operacyjny „Inteligentny Rozwój 2014–2020”.</p> <p>Opis projektu: Celem projektu jest stworzenie nowoczesnego centrum badawczo-rozwojowego, które prowadzi szeroki zakres prac badawczych nad innowacjami żywieniowymi, w tym badanie sposobów ulepszania technologii produkcji i tworzenia nowych produktów żywnościowych, które poszerzą gamę produktów oferowanych przez Konspol Group w przyszłości.</p> <p>Data wdrożenia: 2016 r.</p>
<p>Tytuł Projektu: Uruchomienie linii produkcyjnej innowacyjnych i naturalnych napojów funkcjonalnych.</p> <p>Wartość projektu: 11 622 000 zł.</p> <p>Razem subsydiowane: 5 229 900 zł.</p> <p>Program: program operacyjny „Inteligentny Rozwój 2014–2020”.</p> <p>Opis projektu: Uruchomienie linii produkcyjnej w celu wprowadzenia innowacyjnych, naturalnych napojów funkcjonalnych na rynek na podstawie badań przeprowadzonych nad kombinacją jodu i substancji bioaktywnych z wysoko zmineralizowanymi wodami Cechini Muszyna.</p> <p>Data wdrożenia: 2016 r.</p>
<p>Tytuł projektu: Utworzenie centrum badawczo-rozwojowego w celu prowadzenia badań nad rozwojem nowych technologii produkcji żywności, w tym synergii naturalnych dodatków funkcjonalnych.</p> <p>Wartość projektu: 4 430 963,13 zł.</p> <p>Wysokość dofinansowania: 1 981 324,98 zł.</p> <p>Program: program operacyjny „Inteligentny Rozwój 2014–2020”.</p> <p>Opis projektu: Celem projektu jest stworzenie nowoczesnie wyposażonego centrum badań i rozwoju dla badań nad innowacjami.</p>

<b>Wybrane naukowo-badawcze projekty realizowane w regionie w obszarze biogospodarki realizowane w Małopolsce</b>
<p>Tytuł projektu: Gospodarka wodno-ściekowa w Krakowie – Etap VI. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA. Operator: Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Wartość całkowita projektu: 170 120 941,18 zł (z VAT), z czego maksymalna wysokość dofinansowania z Funduszu Spójności to 84 478 245,27 zł.</p>
<p>Tytuł projektu: Gospodarka wodno-ściekowa w Krakowie – Etap V. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA Operator: Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Wartość całkowita projektu: 70 407 936,94 zł (z VAT), z czego maksymalna wysokość dofinansowania z Funduszu Spójności to 36 587 284,39 zł. Wkład własny MPWiK SA w Krakowie: 33 820 652,55 zł.</p>
<p>Tytuł projektu: Zastosowanie archeanów i niekonwencjonalnego źródła węgla w procesie oczyszczania ścieków komunalnych. Opis projektu: Projekt realizowany w ramach Programu Badań Stosowanych przez Politechnikę Krakowską im. Tadeusza Kościuszki, będącą liderem konsorcjum w składzie z Miejskim Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji SA w Krakowie, współfinansowany jest ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju z siedzibą w Warszawie. Badania prowadzone w skali laboratoryjnej i technicznej polegają na augmentacji osadu czynnego archeanami. Osad taki wymaga pracy w warunkach zmniejszonego stężenia tlenu, a zachodzący proces denitryfikacji jest znacznie skrócony, co w konsekwencji wpływa na znaczne zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych oczyszczalni. Zadaniem projektu jest opracowanie optymalnych warunków pracy osadu czynnego w obecności archeanów. Koszt całkowity projektu: 1 800 000,00 zł. Dofinansowanie ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: 1 380 000,00 zł. Okres realizacji: 1.09.2012–30.06.2015. Cel projektu: zastosowanie zidentyfikowanych dopiero w 1999 r., najstarszych mikroorganizmów archeanów (<i>archaea</i>) do usuwania zanieczyszczeń biogenych, głównie związków azotu, fosforu i węgla.</p>
<p>Tytuł projektu: Energetycznie pasywna oczyszczalnia ścieków. Cel projektu: stworzenie Zintegrowanego Systemu Efektywności Energetycznej (ZSEE), który obniży zużycie energii konwencjonalnej Zakładu Oczyszczania Ścieków „Płaszów”, a jednocześnie pozwoli zwiększyć produkcję energii w oparciu o odnawialne źródła energii. W ramach programu GEKON – Generator Koncepcji Ekologicznych. Nr Umowy: GEKON2/02/266926/3/2015. Kwota dofinansowania: 6 959 662 zł. „Energetycznie Pasywna Oczyszczalnia Ścieków”, projekt realizowany w ramach Programu Gekon – Generator Koncepcji Ekologicznych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. w Krakowie będące liderem konsorcjum w składzie z Akademią Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie, współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Koszt całkowity: 14 472 750,00 zł. Okres realizacji: 2015–2017.</p>

Źródło: opracowanie własne.

## Literatura

- Adamowicz M. (2016), *Biogospodarka jako inteligentna specjalizacja w strategiach rozwoju polskich regionów*, Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, t. XVIII, z. 1.
- Bio-based Industries Consortium (2018), *Mapping the Potential of Poland for the Bio-based Industry*, Bruksela.
- Bioeconomy regions in Europe* (2017), [https://biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/publications/BIC\\_GA\\_Brochure\\_Bioeconomy\\_regions\\_in\\_Europe\\_Nov\\_2017.pdf](https://biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/publications/BIC_GA_Brochure_Bioeconomy_regions_in_Europe_Nov_2017.pdf) (dostęp: 7.09.2019).
- Chyłek K.E., Rzepecka M. (2011), *Biogospodarka – konkurencyjność i zrównoważone wykorzystanie zasobów*, „Polish Journal of Agronomy”, vol. 7.
- Deklaracja mediolańska. *Połączyć siły na rzecz inwestycji. w przyszłość Europy* (2015), Załącznik nr 1 do Uchwały nr 410/15 Zarządu Województwa Małopolskiego z dnia 9 kwietnia 2015 r.
- Dziemianowicz W., Szlachta J., Peszat K. (2014), *Potencjały rozwoju i specjalizacje Polskich województw*, Geoprofit, Warszawa.
- GUS (2018), *Nauka i technika w 2016*, Warszawa, Szczecin.
- GUS (2019), *Wskaźniki zielonej gospodarki w Polsce w 2019*, Warszawa, Białystok.
- Inicjatywa Awangarda* (2018), <https://www.malopolska.pl/biznes/innowacje/inicjatywa-awangarda> (dostęp: 12.12.2019).
- Inteligentne specjalizacje* (2018), <https://businessinmalopolska.pl/o-regionie/inteligentne-specjalizacje-regionu> (dostęp: 7.12.2019).
- Krajewski P. (2018), *Biogospodarka – rozwój gospodarczy i ochrona zasobów naturalnych w kontekście ochrony praw człowieka*, „Studia Prawnoustrojowe”, vol. 39.
- Mapa innowacji w obszarze biogospodarki* (2018), <http://lifescienceopenspace.pl/biogospodarka/mapa-innowacji-w-obszarze-biogospodarki> (dostęp: 11.10.2019).
- Modelowanie rynku biomasy w Małopolsce z uwzględnieniem aspektów prawnych, rynkowych i ekologicznych* (2011), Śródkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, „Rocznik Ochrona Środowiska”, t. 13, [http://towarzystwo.ros.edu.pl/images/roczniki/archive/pp\\_2011\\_090.pdf](http://towarzystwo.ros.edu.pl/images/roczniki/archive/pp_2011_090.pdf) (dostęp: 11.10.2019).
- Morawiecki M. (2017), *Strategia na rzecz odpowiedzialnego rozwoju do 2020 (z perspektywą do 2030)*, Warszawa.
- Ministerstwo Rozwoju Regionalnego (2012), *Strategia Rozwoju Kraju 2020. Aktywne społeczeństwo – konkurencyjna gospodarka – sprawne państwo*, Warszawa.
- Potencjał Małopolski* (2018a), <https://www.malopolska.pl/biznes/gospodarka/potencjal-gospodarczy>, [http://wpia.uwm.edu.pl/czasopisma/sites/default/files/uploads/Studia\\_Prawno\\_Ustrojowe/2018/39/31-46.pdf](http://wpia.uwm.edu.pl/czasopisma/sites/default/files/uploads/Studia_Prawno_Ustrojowe/2018/39/31-46.pdf) (dostęp: 16.10.2019).
- Potencjał Małopolski* (2018b), PAIH, [https://www.paih.gov.pl/files/?id\\_plik=11772](https://www.paih.gov.pl/files/?id_plik=11772) (dostęp: 23.10.2019).
- Rocznik statystyczny województwa małopolskiego (2017), Dział XV, [http://krakow.stat.gov.pl/files/gfx/krakow/pl/defaultstronaopisowa/1183/1/1/2017\\_15\\_woj.pdf](http://krakow.stat.gov.pl/files/gfx/krakow/pl/defaultstronaopisowa/1183/1/1/2017_15_woj.pdf) (dostęp: 15.10.2019).

*Rolnictwo w województwie małopolskim* (2016), [https://krakow.stat.gov.pl/files/gfx/krakow/pl/defaultaktualnosci/759/1/5/1/2017\\_rolnictwo\\_w\\_woj\\_malop\\_2016.pdf](https://krakow.stat.gov.pl/files/gfx/krakow/pl/defaultaktualnosci/759/1/5/1/2017_rolnictwo_w_woj_malop_2016.pdf) (dostęp: 15.05.2019).

*Vanguard Initiative* (2019), <https://www.s3vanguardinitiative.eu> (dostęp: 23.10.2019).

*Województwo małopolskie* (2017), [https://www.malopolska.pl/\\_userfiles/uploads/Ma-%C5%82opolski%20Plan%20Inwestycyjny/r%C3%B3C3%B3C5%BCne/WM2017.pdf](https://www.malopolska.pl/_userfiles/uploads/Ma-%C5%82opolski%20Plan%20Inwestycyjny/r%C3%B3C3%B3C5%BCne/WM2017.pdf) (dostęp: 10.09.2019).

Ustawa z dnia 19 lipca 2019 r. o przeciwdziałaniu marnowaniu żywności, Dz.U. 2019, poz. 1680.

Woźniak E., Twardowski T. (2016), *The Current State of Bioeconomy in Poland*, „Acta Biochemica Polonica”, vol. 63(4).

# ŻYWNOSĆ JAKO DOBRO O SZCZEGÓLNYM ZNACZENIU – BEZPIECZEŃSTWO ŻYWNOSCIOWE

## 5.1. Bezpieczeństwo żywnościowe a bioróżnorodność

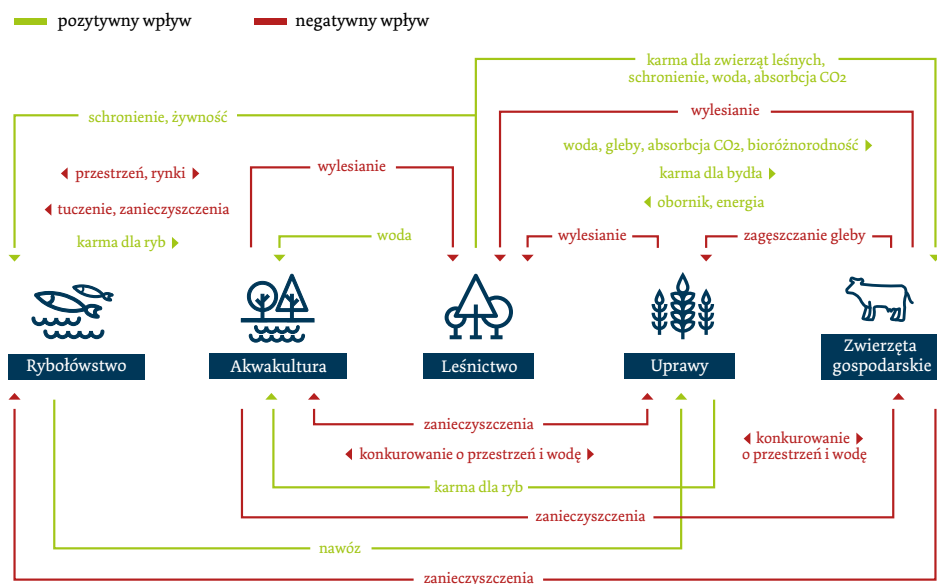
W piramidzie wartości biogospodarki (por. rozdział 1) żywność, obok leków, zajmuje najwyższą pozycję, a jej wytwarzanie jest najważniejszym zadaniem procesu gospodarowania. Nie ulega wątpliwości, że w kontekście rosnącej populacji zasoby ziemi rolnej w pierwszej kolejności powinny służyć wyżywieniu ludności. Jedną z potencjalnych pułapek biogospodarki jest przeniesienie punktu ciężkości z produkcji żywności na sektor energetyczny i wykorzystanie pól do produkcji innych materiałów przemysłowych. Sektor żywności – kluczowy dla egzystencji – jest jednak szczególnie wrażliwy na przemiany środowiskowe, które obecnie mają miejsce na Ziemi. Jednym z obszarów, w którym przekroczone zostały już granice możliwości planety, jest utrata bioróżnorodności, jakże istotnej dla rolnictwa. Ważnym zagadnieniem jest również niesprawiedliwa dystrybucja żywności na świecie. W krajach rozwiniętych dochodzi bowiem do niespotykanego wcześniej w historii marnowania żywności, a jednocześnie nierozwiązany pozostaje problem istnienia ogromnych obszarów głodu i niedożywienia.

Zwiększenie produkcji w celu zaspokojenia rosnącego popytu na żywność, paszę i bioenergię przy jednoczesnym zachowaniu różnorodności biologicznej i zmniejszeniu presji na zasoby naturalne i ekosystemy jest obecnie priorytetowym wyzwaniem globalnym w nauce i praktyce ([http://cordis.europa.eu/programme/rcn/664237\\_en.html](http://cordis.europa.eu/programme/rcn/664237_en.html), FAO 2017, dostęp: 16.05.2019). Różnorodność biologiczna odgrywa kluczową rolę w bezpieczeństwie żywnościowym, żywieniu, źródłach utrzymania i świadczeniu usług ekosystemowych, a rolnictwo zapewniające żywność jest jednym z podstawowych czynników kształtujących bioróżnorodność. Rolnictwo obejmuje wszystkie aspekty hodowli roślin i zwierząt, rybołówstwo, akwakulturę i leśnictwo. Pomędzy tymi sektorami występuje

synergia lub antagonizm, które mogą decydować o współistnieniu i rozwoju danych sektorów (rys. 5.1).

**Rysunek 5.1.** Zależności występujące pomiędzy składowymi podstawowymi sektorów rolnictwa

### Wybrane synergie (na zielono) i konflikty (na czerwono) w sektorze rolnym



Źródło: opracowanie własne na podstawie: FAO 2017.

Bioróżnorodność w rolnictwie obejmuje wszystkie składniki istotne dla produkcji wraz ze składnikami, które tworzą ekosystem rolniczy (zwierzęta, rośliny i mikroorganizmy), na poziomie genetycznym, gatunkowym i ekosystemowym, który podtrzymuje funkcje, strukturę i procesy agroekosystemu. Ta różnorodność jest kształtowana przez rolników i społeczności od tysięcy lat i pozostaje kluczowym elementem utrzymania rolników na całym świecie. Bioróżnorodność w rolnictwie, w tym naturalne zasoby genetyczne, jest podstawowym narzędziem ciągłego doskonalenia odmian czy ras oraz niezbędnym czynnikiem odporności i radzenia sobie ze zmianami środowiskowymi przez agroekosystemy (FAO 2017).

W kontekście granic planetarnych to bioróżnorodność jest zasobem środowiskowym w największym stopniu naruszonym przez ludzkość (rys. 5.2). Bioróżnorodność pomaga regulować obieg składników odżywczych i wody oraz

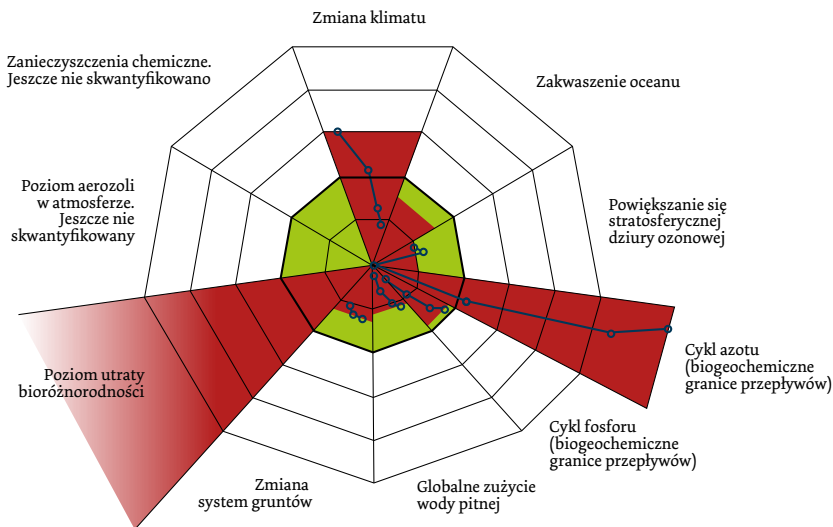


łagodzi skutki zmian klimatu, a więc pozostaje w synergii nie tylko z bezpieczeństwem żywnościowym, ale też z innymi granicami planetarnymi (Rockström i in. 2009).

Zaznaczone w Konwencji o różnorodności biologicznej z Rio de Janeiro „podstawowe znaczenie bioróżnorodności dla ewolucji oraz dla funkcjonowania systemów podtrzymujących życie w biosferze” jest w dalszej jej części uzupełnione o zapis, że: „ochrona oraz zrównoważone użytkowanie różnorodności biologicznej mają kluczowe znaczenie dla wyżywienia i zaspokojenia zdrowotnych oraz innych potrzeb wzrastającej populacji ludzkiej na świecie i że w tym celu niezbędny jest dostęp i podział zasobów genetycznych i technologicznych” (Dz.U. z 2002 r. nr 184, poz. 1532).

Rysunek 5.2 przedstawia koncepcje granic planetarnych, które decydują o ludzkim rozwoju. Zróżnicowana, zdrowa żywność oraz czysta woda, których stały dostęp już stanowi jeden z globalnych problemów, są niezbędne wszystkim ludziom w ciągu całego życia. Bogactwo organizmów w ekosystemach decyduje o jakości i ilości wody oraz żywności. Krytycznymi czynnikami utraty bioróżnorodności są: niszczenie siedlisk, globalne ocieplenie i niekontrolowane rozprzestrzenianie się obcych gatunków (tzw. inwazyjnych). Znaczenie mają również zanieczyszczenie, depozycja azotu i zmienność opadów atmosferycznych (Van Meter i in. 2016, IPBES 2018).

**Rysunek 5.2.** Granice planetarne



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Rockström i in. 2009.

Obecnie bezpieczeństwo żywnościowe stoi przed poważnymi wyzwaniami związanymi przede wszystkim ze wzrostem liczby ludności, ubóstwem, globalizacją i zmianami klimatu. Nie tylko dostarczanie odpowiedniej ilości żywności (bezpieczeństwo żywnościowe), ale też zdrowej, wartościowej (bezpieczeństwo żywności) wszystkim ludziom jest niewątpliwie dla globalnego rozwoju. Wyzwaniom tym można sprostać, ale należy przede wszystkim znacznie zintensyfikować i poprawić jakość produkowanej żywności oraz zapewnić sprawiedliwy dostęp do żywności wszystkim ludziom (Burlingame 2014).

Bezpieczeństwo żywnościowe definiujemy jako ciągły dostęp wszystkich ludzi do wystarczającej, bezpiecznej i pożywej żywności w celu utrzymania zdrowego i aktywnego życia (Światowy Szczyt Żywności 1996).

Utrzymanie różnorodności biologicznej i globalne bezpieczeństwo żywnościowe stanowią więc główne wyzwania współczesnych czasów. Powiązanie tych dwóch obszarów z perspektywy badawczej i poszukiwanie synergii między nimi może dać wiele korzyści dla rozwoju społecznego, ekologicznego i gospodarczego świata (Burlingame i Dernini 2012, Fisher i in. 2017).

Pomimo że produkcja żywności gwałtownie wzrosła od czasu zielonej rewolucji po II wojnie światowej, Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) podaje, iż w 2016 r. liczba osób przewlekłe niedożywionych na świecie wzrosła do 815 mln w porównaniu z 2015 r., kiedy wynosiła 777 mln. Jedynym pozytywnym aspektem jest to, że w 2000 r. liczba ta wynosiła 900 mln, czyli występuje tendencja spadkowa, ale nie jest ona stała. FAO ocenia, że nieustająco znacznie ponad 1 mld ludzi cierpi z powodu braku bezpieczeństwa żywnościowego, a do 2 mld ludzi pozostaje niedożywionych (obecnie populacja liczy 7,32 mld) (FAO 2014c, FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO 2017). Ponadto FAO (2017) wskazuje, że poziom bioróżnorodności agroekosystemów i działania związane z utrzymaniem puli genów organizmów ważnych dla rolnictwa są prowadzone, ale ich skala jest niedostateczna.

Z historycznego punktu widzenia bezpieczeństwo żywnościowe i ochrona bioróżnorodności były rozpatrywane odrębnie i miały osobne, własne środowisko naukowe toczące debaty i starające się opracować właściwą strategię działań likwidujących zagrożenia. Świadomość, że ochrona różnorodności biologicznej i zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego rosnącej populacji ludzi są nierozdzielnie związane ze sobą, wzrasta dopiero w ostatnich latach i stanowi pole dla nieco innego podejścia do tych dwóch ważnych globalnych priorytetów (Kremen i Miles 2012).

**Fakty przedstawiane przez FAO (2017):**

- 815 mln ludzi na świecie jest nadal niedożywionych
- Do 2050 r. napędzana wzrostem w krajach rozwijających się liczba ludności na świecie wyniesie prawie 10 mld, przy czym więcej ludzi będzie żyło na terenach zurbanizowanych
- W ciągu ostatnich 50 lat światowa produkcja rolna wzrastała średnio o 2% do 4% rocznie, podczas gdy areal ziemi uprawnej tylko o 1% rocznie, co wskazuje na zwiększoną wydajność rolnictwa
- Obecnie z 8800 znanych ras zwierząt gospodarskich 7% wyginęło, 24% jest zagrożonych wyginięciem, a aż 59% sklasyfikowano jako posiadające nieznany status ryzyka z powodu braku danych
- Ponad 70% krajów stosuje środki ochrony *in situ* w odniesieniu do zasobów genetycznych zwierząt, jednak mniej niż 20% uważa, że ich środki są skuteczne
- Żywność pochodzenia zwierzęcego zawiera białko, żelazo, cynk, witaminę A i witaminę B12, które mają szczególne znaczenie żywieniowe dla dzieci
- Ponad 580 gatunków organizmów wodnych wykorzystywanych do globalnej produkcji żywności pochodzi z akwakultury
- Gatunki roślin (jęczmień, fasola, orzeszki ziemne, kukurydza, ziemniaki, ryż, sorgo i pszenica) dostarczają 53% średniego dziennego spożycia kalorii, pięć gatunków zwierząt (bydło, owce, kozy, świnie i kurczaki) zapewnia 31% średniego dziennego spożycia białka, tylko trzy gatunki roślin (pszenica, ryż i kukurydza) stanowią 48% średniego dziennego spożycia kalorii
- Około 3,6 mln upraw (zbiory materiału roślinnego z określonej lokalizacji) jest zachowane w bankach genów przez 71 krajów i 12 międzynarodowych ośrodków, z czego około połowa obejmuje dziewięć głównych upraw żywności
- Ponad połowa plazmy zarodkowej wykorzystywanej w hodowli i badaniach przedhodowlanych została uzyskana z sieci regionalnych lub międzynarodowych banków genów, co wskazuje na wyraźną współzależność
- Chociaż dzikie organizmy stanowią ok. 13% światowych zasobów banków genów, nadal brakuje w bankach ok. 70% takich gatunków
- Obszary chronione i ogrody botaniczne powiększyły się o 30%, przez co zwiększyła się ochrona dzikich organizmów
- Od 1996 r. zebrano co najmniej 240 tys. nowego materiału roślinnego i dodano go do banków genów *ex situ*
- Na całym świecie 524 mln ha lasów zostało pierwotnie przeznaczonych na ochronę bioróżnorodności
- Prawie 8 tys. gatunków drzew i innych roślin drzewiastych w lasach (zarośla, palmy i bambus) jest wykorzystywane do różnych celów w 86 krajach na całym świecie, ale tylko ok. 2360 z nich jest obecnie aktywnie zarządzane.

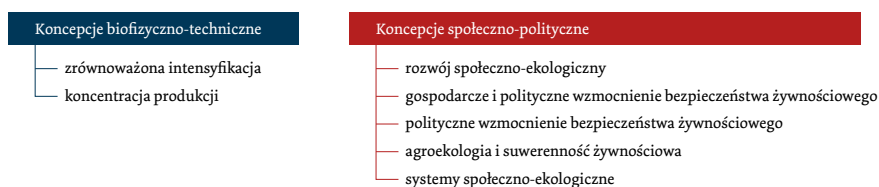
Analizując współczesną literaturę światową z zakresu problemów utraty bioróżnorodności i bezpieczeństwa żywnościowego, J. Glamann i in. (2017) stwierdzili, że dla łącznego przeciwdziałania tym zagrożeniom znaczenie mają:

- zrównoważona intensyfikacja i uwzględnienie jej w całym systemie, tj. produkcji oraz dystrybucji żywności;

- koncentracja produkcji, ponieważ transformacja rolnictwa musi przynieść wystarczającą ilość żywności, co w świetle przewidywanego wzrostu populacji oznacza mniej więcej podwojenie zapasów żywności w ciągu najbliższych kilku dekad, przy czym należy uwzględnić ograniczone zasoby ziemi;
- rozwój społeczno-ekologiczny – innowacje technologiczne są niezbędne, ale niewystarczające do osiągnięcia bezpieczeństwa żywnościowego, globalne znaczenie bioróżnorodności w krajach rozwijających się musi być uwzględnione w świetle pojawiających się potrzeb (populacja – żywność) i przewidywanych zmian zagospodarowania;
- gospodarcze i polityczne wzmocnienie bezpieczeństwa żywnościowego, tj. przeciwdziałanie aspektom społecznym powodującym brak bezpieczeństwa żywnościowego;
- agroekologia i suwerenność żywnościowa – systemy produkcji oparte na agroekologii wpływają na bioróżnorodne, odporne, wydajne energetycznie, sprawiedliwe społecznie rolnictwo i stanowią podstawę strategii suwerenności energetycznej, produkcyjnej i żywnościowej;
- systemy społeczno-ekologiczne – bardziej zróżnicowane agroekosystemy wykazują większą odporność społeczno-ekologiczną na zakłócenia i nieprzewidziane zdarzenia, systemy uprawy wielogatunkowej mogą zwiększyć żyzność gleby, zmniejszyć straty spowodowane patogenami i szkodnikami oraz pomóc rolnikom dostosować się do zmieniających się warunków środowiskowych, społeczno-kulturowych i rynkowych.

J. Glamann i in. (2017), analizując literaturę, stwierdzili, że istnieją dwa główne i dość odmienne podejścia do koncepcji związku bezpieczeństwa żywności i ochrony bioróżnorodności. Określili je jako biofizyczno-techniczne (zrównoważona intensyfikacja, koncentracja produkcji) oraz społeczno-polityczne (rozwój społeczno-ekologiczny, gospodarcze i polityczne wzmocnienie bezpieczeństwa żywnościowego, agroekologia i suwerenność żywnościowa, systemy społeczno-ekologiczne) (rys. 5.3).

**Rysunek 5.3.** Koncepcje związku bezpieczeństwa żywnościowego i ochrony bioróżnorodności funkcjonujące w świecie



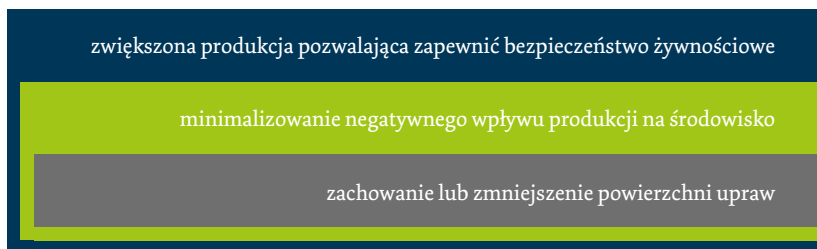
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Glamann i in. 2017.

Podjęcie biofizyczno-techniczne koncentruje się na osiągnięciu kompromisu, w dużej mierze technicznego, pomiędzy produkcją żywności a ochroną różnorodności biologicznej, natomiast koncepcje społeczno-polityczne niekoniecznie zakładają, że istnieje nieodłączny kompromis pomiędzy produkcją żywności a ochroną bioróżnorodności. Okazuje się jednak, że utrzymanie bioróżnorodności może być niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego, szczególnie w dłuższej perspektywie czasowej. W koncepcjach społeczno-politycznych większy nacisk kładzie się na ogólne kwestie prawne, sprawiedliwości i dystrybucji, a często pomija się fizyczne aspekty produkcji żywności. Podejście społeczno-polityczne ma bardziej holistyczną, ale często bardziej lokalną perspektywę, w odróżnieniu od biofizyczno-technicznego. Modele powiązań żywność – bioróżnorodność są w podejściu społeczno-politycznym bardziej zróżnicowane, wynikają ze złożonych interakcji wielu czynników w skalach czasowych i przestrzennych, co w pewnym stopniu ogranicza możliwość tworzenia globalnie istotnych rozwiązań (Glamann i in. 2017).

Warto przeanalizować ogólne założenia poszczególnych klastrów bezpieczeństwa żywności i ochrony bioróżnorodności, rozpoczynając od koncepcji biofizyczno-technicznych, czyli zrównoważonej intensyfikacji i koncentracji produkcji.

W ostatnich dziesięcioleciach konwencjonalna intensyfikacja rolnictwa rozwijała się bardzo dynamicznie, tj. w tempie przewyższającym ogólne tempo rozwoju rolnictwa. Ocenia się, że to właśnie intensyfikacja była odpowiedzialna za notowany wzrost wydajności upraw. W ciągu ostatnich 50 lat powierzchnia nawadnianych pól uprawnych na świecie podwoiła się, a globalne zużycie nawozów wzrosło o 500% (ponad 800% w przypadku samego azotu). Niestety, taka intensyfikacja spowodowała również degradację wody, znaczne zużycie energii i powszechne zanieczyszczenie. Miało to ogromny wpływ na stan środowiska, w tym na bioróżnorodność. Obecnie szczególne obawy budzi fakt, że ok. 70% światowych dostaw słodkiej wody (80–90% konsumpcji) przeznaczają się na nawadnianie. Ponadto rolnictwo zasilane deszczem jest największym użytkownikiem wody na świecie. Z kolei nawożenie, szczególnie azotowe (nawozy mineralne, obornik i nawozy zielone utrwalające azot w glebie), dramatycznie zakłóciło globalne cykle azotu i fosforu, co również jest związane z szeroko rozumianą gospodarką wodną (Foley i in. 2011, Pingali 2012, Storkey i in. 2012). Klasyczna intensyfikacja nie stanowi więc synergii z bioróżnorodnością. Dekadę temu rozpoczęto opracowanie koncepcji zrównoważonej intensyfikacji.

FAO (2011b) zdefiniowało zrównoważoną intensyfikację jako działania mające na celu osiągnięcie bezpieczeństwa żywnościowego poprzez zwiększenie produkcji, przy jednoczesnej minimalizacji negatywnego jej wpływu na środowisko i zahamowaniu wzrostu powierzchni upraw (rys. 5.4).

**Rysunek 5.4.** Podstawowe założenia zrównoważonej intensyfikacji rolnictwa

Źródło: opracowanie własne na podstawie: FAO 2011b.

Optymistyczny scenariusz zrównoważonej intensyfikacji nakreślający sytuację większej ilości żywności dla większej liczby osób uzyskanej przy mniejszym wpływie na środowisko może stanowić problem, ponieważ siłą rzeczy brak równowagi pomiędzy zrównoważeniem a intensyfikacją (Garnett i Godfray 2012). Należy jednak przyznać, że koncepcja zrównoważonego rozwoju (*sustainable development*) ma wiele aspektów i interpretacji, ale istnieje powszechna zgoda, że obejmuje ona nie tylko integralność środowiskową, ale także dobro ludzi, a biorąc pod uwagę fundamentalne znaczenie żywności dla dobrobytu człowieka, zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego jest nieodłącznym celem zrównoważonego rozwoju (Loos i in. 2014).

Kluczem do zrównoważonego rozwoju jest utrzymanie zasobów w czasie, tak aby zapewnić przyszłym pokoleniom dostęp do przynajmniej tego samego poziomu zasobów (sprawiedliwość międzypokoleniowa), jakie posiada obecne pokolenie (Loos i in. 2014).

Polskie określenie „zrównoważony” nie oddaje dokładnie znaczenia zrównoważonego rozwoju, co niewątpliwie ma miejsce dla angielskiego *sustainable*, oznaczającego obok „zrównoważony”, również „trwały” lub „podtrzymujący”. Z kolei intensyfikacja rolnictwa to proces zwiększania wydajności ziemi, a przede wszystkim plonowania upraw. Większe plony można osiągnąć przez zwiększenie powierzchni albo zwiększenie intensywności upraw na istniejącej powierzchni. Zrównoważona intensyfikacja nie przewiduje zwiększenia powierzchni upraw. Jest to niepożądane w kontekście ochrony bioróżnorodności. Intensyfikację produkcji na danej powierzchni można osiągnąć poprzez skrócenie płodozmiaru, ograniczenie odłogowania, stosując nawadnianie i efektywne środki produkcji, uprawiając odmiany o wyższej wydajności oraz przez stosowanie mechanizacji. Niestety, działania te zazwyczaj mają też negatywne konsekwencje środowiskowe. Alternatywą staje się intensyfikacja agroekologiczna skoncentrowana na tzw. naturalnych środkach zwiększania wydajności, np. działania profilaktyczne ograniczające szkodliwość agrofagów, odpowiedni dobór gatunków i odmian,

uprawa roślin bobowatych, stosowanie środków promujących wzrost roślin, stosowanie biopestycydów (Loos i in. 2014). Kolejną alternatywą, nieco przeciwną do intensyfikacji agroekologicznej jest rolnictwo precyzyjne, czyli zarządzanie rolnictwem z wykorzystaniem technik infotech, ukierunkowane na maksymalizację produkcji (plonów) przy minimalizacji nakładów ( nawozów, pestycydów, wody). Do precyzyjnego monitorowania środowiska wykorzystuje się teledetekcję, geosynchroniczny system pozycjonowania (GPS) i system informacji geograficznej (GIS). Pomiar lokalnych warunków środowiskowych pozwalają określić rodzaj i obszar problemów w uprawie. Skutkuje to miejscowym działaniem, np. zwalczaniem agrofagów, nawożeniem, nawadnianiem właściwym dla danego miejsca, dokładnym i skutecznym. Gromadzone dane dotyczą również analizy plonów, monitorowania szkodników, suszy i prognozowania warunków klimatycznych (Sekhon 2014). Rolnictwo precyzyjne wpływa też na obniżenie ilości odpadów i wymaganych wydatków na pracę.

Ze względu na koszty rolnictwo precyzyjne wdraża się w dużych gospodarstwach i tam może stanowić ono narzędzie zrównoważonej intensyfikacji. Zrównoważona intensyfikacja agroekologiczna jest możliwa bez względu na areal uprawy, a nawet łatwiej jest ją stosować na obszarach charakteryzujących się dużym rozdrobieniem gospodarstw.

Historycznie termin łączący zrównoważoną produkcję i jej intensyfikację wywodzi się z lat 90. XX w., wtedy dotyczył rolnictwa subsaharyjskiego. Ówczesna koncepcja wiązała się, tak jak obecnie, z chęcią zwiększania plonów bez negatywnego wpływu na środowisko, przez co spodziewano się korzystnego oddziaływania na gospodarkę. Położono wówczas nacisk na wiedzę lokalną i adaptację wszelkich możliwych metod produkcji do warunków lokalnych. Za kluczowe dla rozwoju koncepcji uznano rozdrobienie gospodarstw. Postawiono na integrację metod w celu oszczędzania wody, gleby, właściwego zarządzania przepływami substancji odżywczych, efektywnej ochrony przed agrofagami. Dążono do zbudowania rolniczych systemów adaptacyjnych, które zniwelowałyby wiejską biedę (Pretty 1997).

Obecnie zauważyć można, że zrównoważona intensyfikacja odchodzi od skali lokalnej i koncentruje się na zwiększaniu wydajności w skali szerszej, a nawet globalnej. Głównym argumentem na rzecz promowania zrównoważonej intensyfikacji jest to, że rosnąca, zamożniejsza populacja domaga się większej ilości i bardziej zróżnicowanych produktów rolnych. Poszukiwane na rynku są też produkty ekologiczne, wolne od pozostałości agrochemikaliów. W skali lokalnej i globalnej zakłada się, że zrównoważona intensyfikacja powinna promować wielofunkcyjne krajobrazy, zapewniając utrzymanie funkcji ekologicznych, które stanowią podstawę produkcji roślinnej, ale też innych usług ekosystemowych, takich jak np. łagodzenie skutków powodzi lub funkcji

rekreacyjnej krajobrazu. Można to osiągnąć poprzez optymalizację użytkowania gruntów i wprowadzanie dobrych praktyk rolniczych równoległe z istotnym obniżeniem dawek nawozowych (azot, fosfor). Ważne jest również lepsze zarządzanie zasobami gleby, racjonalne stosowanie pestycydów, szczególnie poprzez integrowaną ochronę przed szkodnikami, chorobami i chwastami. Realne osiągnięcie wielofunkcyjności w krajobrazach rolniczych, czyli na obszarach zdominowanych przez pola uprawne, zawierające dodatek innych siedlisk, np. żywoplotów, terenów podmokłych, użytków zielonych, małych obszarów zalesionych, jest trudne, ale pozostaje jednym z kluczowych założeń zrównoważonej intensyfikacji (Brussaard i in. 2010).

Należy podkreślić, że obecnie koncentrujemy się w większym stopniu na samej produkcji, a istotne jest zrozumienie, że dystrybucja w dużej mierze wpływa na wydajność globalnego systemu żywnościowego i właśnie ona może znacząco zwiększyć dostępność żywności. Wielkim paradoksem jest to, że pomimo iż produkcja żywności jest obecnie wystarczająca do zaspokojenia globalnych potrzeb, ok. 11% ludności świata jest niedożywiona, a choroby związane z dietą napędzają 20% przedwczesnej śmiertelności, związanej zarówno z niedożywieniem, jak i otyłością (IPBES 2019).

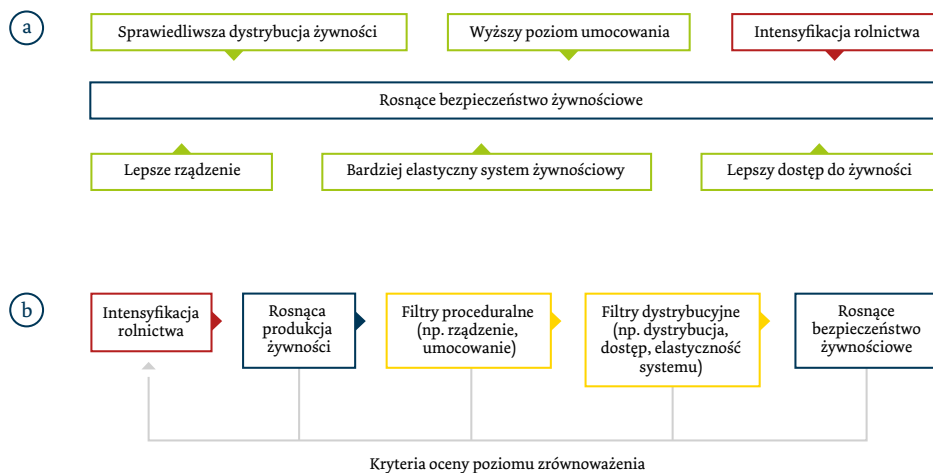
Spójne podejście do zrównoważonej intensyfikacji wymaga (Loos i in. 2014) przede wszystkim odpowiedniego i sprawiedliwego dostępu do żywności w obecnym pokoleniu, następnie uznania, że heterogeniczne, wielofunkcyjne ekosystemy rolne zaspokajają więcej potrzeb niż zwykle dostarczanie żywności, oraz ostatecznie utrzymania wielofunkcyjności ekosystemów rolniczych dla przyszłych pokoleń. J. Loos i in. (2014) zaproponowali nową koncepcję zrównoważonej intensyfikacji, której zmienne uzależnili od siebie w przeciwieństwie do konwencjonalnego podejścia prezentowanego dotychczas (rys. 5.5).

Kolejnym biofizyczno-technicznym klastrem bezpieczeństwa żywności i ochrony bioróżnorodności jest koncentracja produkcji. Według FAO pola uprawne zajmują 1,53 mld ha (ok. 12% powierzchni ziemi wolnej od lodu), a użytki trwałe – 3,38 mld ha (ok. 26% ziemi wolnej od lodu). W sumie rolnictwo zajmuje ok. 38% powierzchni naszej planety. Jest to największy udział sposobu użytkowania spośród wszystkich występujących na Ziemi. Tereny te najlepiej nadają się do celów rolniczych, a ich zasób jest ograniczony, ponieważ pozostałą powierzchnię Ziemi pokrywają między innymi pustynie, góry, tundra, miasta, rezerваты ekologiczne i inne tereny nieodpowiednie dla rolnictwa (FAO 2014). Największe przewidywane zmiany w sposobie użytkowania ziemi dotyczą krajów rozwijających się – gdzie wzrost powierzchni gruntów ornych w ciągu kilkunastu lat, wynikający z potrzeb, może osiągnąć ok. 110 mln ha. Taka zmiana może stanowić poważne zagrożenie dla



bioróżnorodności, zwłaszcza że będzie ona miała miejsce na obszarach o dużym znaczeniu ochronnym dla bioróżnorodności globalnej. Wciąż wiele regionów świata, w których brakuje żywności, stanowi również regiony o bogatej różnorodności biologicznej, takie jak lasy tropikalne Afryki, Azji Południowo-Wschodniej i Ameryki Południowej.

**Rysunek 5.5.** Konceptcje wpływu roli intensyfikacji rolnictwa na bezpieczeństwo żywnościowe w ujęciu konwencjonalnym



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Loos i in. 2014.

Światowa produkcja roślinna rosła w ostatnich dziesięcioleciach bardzo dynamicznie. Ogólnie od 1985 r. do 2005 r. produkcja roślin podstawowych, takich jak zboża, rośliny oleiste, owoce i warzywa, wzrosła aż o 47%, ale według danych FAO uwzględniających wszystkie 174 rośliny uprawne, globalna ich produkcja wzrosła w tym czasie tylko o 28%. Powierzchnia użytków rolnych wzrosła tylko o 2,4%, co wskazuje na osiągnięty wzrost wydajności o 25%. Ponieważ jednak powierzchnia upraw plonujących i zebranych zwiększyła się o ok. 7% (prawie trzy razy więcej niż powierzchnia użytków rolnych, ze względu na uprawy wielokrotne w sezonie i mniej gruntów pozostawionych odłogiem), ostatecznie średnie globalne plony od 1985 r. do 2005 r. wzrosły jedynie o 20%. Alokacja plonów na pasze, nasiona, bioenergię i inne produkty przemysłowe wpływa na ilość żywności dostępnej na świecie. W skali globalnej jedynie 62% produkcji roślinnej (w ujęciu masowym) jest przeznaczane na żywność, a aż 35% stanowią pasze (pośrednio stanowiące żywność, ale jest to znacząco mniej wydajne i bardziej energochłonne w przypadku produkcji mięsa i produktów mlecznych), kolejne 3% stanowią produkcja bioenergii, nasion

i innych produktów przemysłowych. W alokacji występuje uderzająca dysproporcja między regionami, np. Ameryka Północna i Europa przeznaczają tylko ok. 40% plonów na żywność, podczas gdy Afryka i Azja – ponad 80%. Dane te pokazują, że wykorzystanie zasobów ziemi na pasze, szczególnie gruntów wysoce wydajnych, jest niekorzystne dla bezpieczeństwa żywnościowego. Światowy bilans wskazuje, że aż ok. 75% powierzchni użytków (zbiór i wypas) poświęca się na mniej wydajną w kontekście żywnościowym produkcję pasz, ale z drugiej strony produkcja mięsa zapewnia dostęp do wartościowego białka, które jest szczególnie ważne w żywieniu dzieci (Foley i in. 2011, Bernard i Lux 2017, Glamann i in. 2017).

Rolnictwo wpływa na bioróżnorodność poprzez ekspansję pól uprawnych na siedliska naturalne oraz intensyfikację. Światowe rolnictwo już pochłonęło aż 70% użytków zielonych, 50% sawanny, 45% lasów liściastych strefy umiarkowanej i 27% lasów tropikalnych. Najbardziej niepokoi to, że ekspansja ta dotyczy obecnie przede wszystkim strefy klimatu tropikalnego, a lasy tropikalne stanowią największy wkład w globalną bioróżnorodność i pełnią kluczowe usługi ekosystemowe. Występuje też konflikt pomiędzy działaniami na rzecz łagodzenia zmian klimatu w zakresie zagospodarowania ziemi a ochroną bioróżnorodności, np. wdrażanie na dużą skalę plantacji roślin bioenergetycznych lub zalesianie ekosystemów może mieć poważne negatywne skutki uboczne dla bioróżnorodności i zakłócać funkcje ekosystemów. Szacuje się, że zaplanowane do 2030 r. globalne działania w zakresie zagospodarowania łąd mogą zapewnić aż w 37% złagodzenie zmian klimatycznych potrzebnych do osiągnięcia tzw. celu 2°C, ale nie wiadomo, czy nie będą one zakłócać bioróżnorodności. Zwiększenie na dużą skalę areału intensywnych plantacji roślin bioenergetycznych, w tym monokultur, zastępujących lasy naturalne i użytki rolne, może też zagrozić bezpieczeństwu żywnościowemu i wodnemu, a także lokalnym źródłom utrzymania ludzi, w tym spowodować nasilenie konfliktów społecznych.

Koncepcje społeczno-polityczne problemów utraty bioróżnorodności i bezpieczeństwa żywnościowego, tj. rozwój społeczno-ekologiczny, gospodarcze i polityczne wzmocnienie bezpieczeństwa żywnościowego, agroekologia i suwerenność żywnościowa oraz systemy społeczno-ekologiczne, przenikają się i mają wiele wspólnego. Ogromne znaczenie przypisuje się im w krajach rozwijających się i zmarginalizowanych (Glamann i in. 2017). H. Wittman i in. (2017) określili potencjalnie ważne właściwości społeczne w harmonizacji bezpieczeństwa żywnościowego i ochrony bioróżnorodności. Zwrócili uwagę przede wszystkim na różne formy kapitału społecznego i finansowego, stratyfikację społeczną, sieci i ruchy społeczne, instytucje polityczne i relacje między płciami, a także aspekty związane z zarządzaniem, takie jak: powiązania

z rynkami i infrastrukturą, zarządzanie gruntami i systemy dystrybucji zasobów oraz możliwości zatrudnienia poza rolnictwem. H. Wittman i in. (2017) stwierdzili, że wiele z tych czynników zależy w dużym stopniu od kontekstu, co oznacza, że implikacje danej strategii zarządzania gruntami będą się różnić w zależności od miejsca. W swojej pracy badacze ci przedstawiają przykład, że nawet w tym samym regionie kontrastujące czynniki społeczno-ekonomiczne i polityczne, które naciskają na różne modele rolnictwa, mogą skutkować dużymi różnicami w bioróżnorodności, jak też wpływać na bezpieczeństwo żywnościowe. Od instytucji w poszczególnych regionach silnie zależy to, które aspekty bioróżnorodności i bezpieczeństwa żywnościowego są traktowane priorytetowo, przez kogo i w jaki sposób, a tym samym mogą one różnicować degradację ekosystemu i ochronę różnorodności biologicznej, jak i bezpieczeństwo żywnościowe lub jego brak. Również krajowa polityka rolna może nasilić (poprzez tworzenie zachęt instytucjonalnych dla rozwoju rolnictwa) lub zmniejszyć utratę bioróżnorodności (poprzez wspieranie i uznawanie instytucji wspierających ochronę środowiska), a także wpływać na bezpieczeństwo żywnościowe. Powstające interakcje między instytucjami w różnych skalach są kluczowymi czynnikami wpływającymi na wyniki społeczno-ekologiczne. Niewątpliwie jednak skuteczne zarządzanie zrównoważonym systemem zasobów może mieć miejsce jedynie wówczas, gdy władza instytucjonalna znajduje się w społecznościach lokalnych oraz gdy jest ona wspierana przez organy koordynujące niezbędne do zarządzania większymi systemami skali (Wittman i in. 2017). Schematyczny przegląd właściwości systemu społeczno-ekologicznego w skali od globalnej do gospodarstwa domowego, które wpływają na wyniki związane z bezpieczeństwem żywności i ochroną bioróżnorodności, przedstawia rysunek 5.6.

Należy uznać, że społecznym celem produkcji żywności (podstawowy dział biogospodarki) jest zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego. Paradoxem jest, że obecne niedobory żywności występują nie z powodu niewystarczającej produkcji, ale z braku sprawiedliwego podziału. Zapotrzebowanie na żywność jest zmienne – wzrasta, ponieważ dynamicznie wzrasta liczba ludzi na Ziemi, ale też zmienność zapotrzebowania jest napędzana przez rosnące wymagania zamożnych, a nie potrzeby niedożywionych. Potrzeby żywnościowe mogą zostać w pewnym stopniu ograniczone przez powszechniejsze stosowanie zróżnicowanej i zdrowej diety, zmniejszenie marnowania i tracenia żywności oraz ukierunkowanie produkcji na mniej energochłonną (Reedy i Krebs-Smith 2008, Godfray i in. 2010, Hubert i in. 2010, Burlingame 2014, Salter 2018). Jak wszystkie kluczowe elementy rozwoju, również dietę zdefiniowano jako zrównoważoną.

**Rysunek 5.6.** Właściwości systemu społeczno-ekologicznego wpływające na bezpieczeństwo żywności i bioróżnorodności w skalach oddziaływania od globalnej do skali gospodarstw domowych

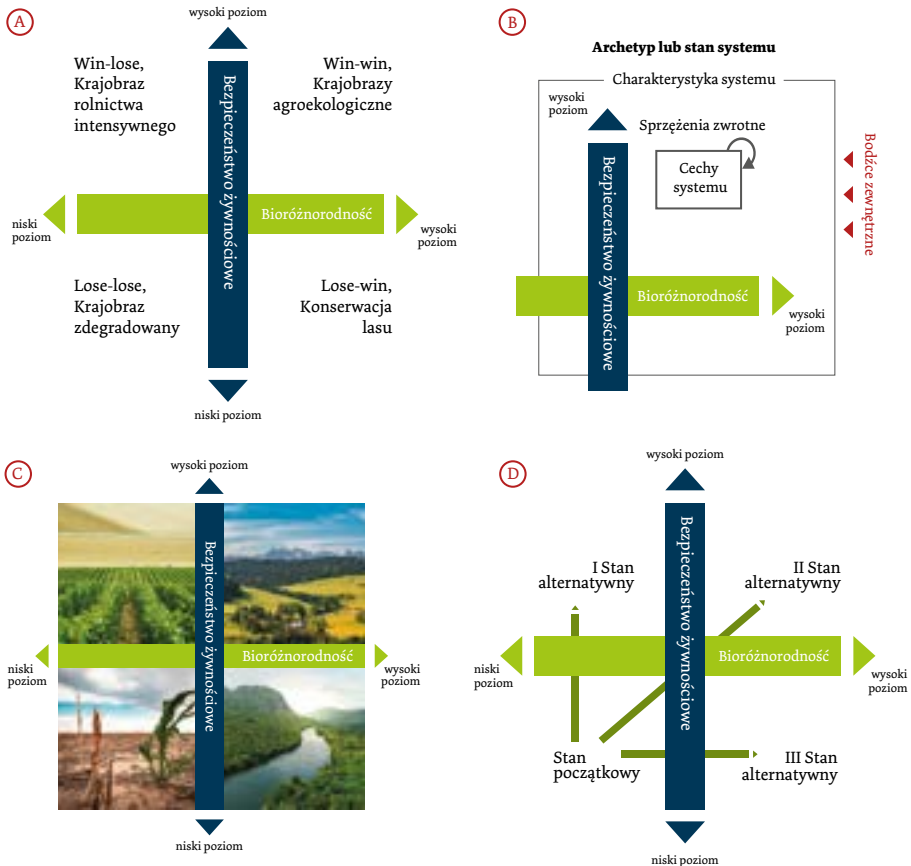
<b>Bioróżnorodność i bezpieczeństwo żywnościowe</b>	
Różnorodność taksonomiczna, różnorodność funkcjonalna, różnorodność genetyczna, różnorodność ekosystemów, stabilność	Osiągalność, dostęp, wykorzystanie, podatność na zagrożenia, stabilność
<b>Skala globalna</b>	
Bio-fizyczne: globalna zmiana klimatu, zmiany środowiskowe	Społeczne / instytucjonalne: umowy handlowe, umowy środowiskowe, system certyfikacji, ruchy społeczne, systemy badań, wielonarodowe korporacje, systemy finansowe
<b>Skala regionalna</b>	
Bio-fizyczne: regionalne zmiany klimatu, zmiany środowiskowe	Społeczne / instytucjonalne: polityka rządu, programy organizacji pozarządowych, zaangażowanie obywatelskie, równość, stabilność polityczna, migracja, systemy przechowywania i dystrybucji żywności, import i eksport żywności, zachowania korporacyjne
<b>Skala krajobrazu</b>	
Bio-fizyczne: mikroklimat, rodzaje gleby, topografia, szkodniki i choroby, erozja gleby, dostępność wody, ilość naturalnej roślinności	Społeczne / instytucjonalne: systemy własności gruntów i dostępność gruntów, aktywa kapitałowe, struktura rynku, infrastruktura, nakłady rolnicze i wiedza
<b>Skala gospodarstwa domowego</b>	
Bio-fizyczne: żywność ziemi, szkodniki i choroby	Społeczne / instytucjonalne: agencje i prawa polityczne, demografia, edukacja, sieci społecznościowe, równość płci, aktywa kapitałowe, zamożność, strategię życia, praktyki rolnicze

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Wittman i in. 2017.

Dieta zrównoważona to dieta o niskim wpływie na środowisko, która przyczynia się do bezpieczeństwa żywnościowego i żywności oraz do zdrowego życia dla obecnych i przyszłych pokoleń. Zrównoważona dieta chroni i szanuje bioróżnorodność oraz ekosystemy. Zrównoważona dieta jest akceptowana kulturowo, dostępna, sprawiedliwa ekonomicznie i przystępna cenowo. Jest też odpowiednia pod względem odżywczym, bezpieczna i zdrowa. Zrównoważona dieta optymalizuje zasoby naturalne i ludzkie (Burlingame i Dernini 2012).

Powiązanie bezpieczeństwa żywnościowego z ochroną bioróżnorodności w systemach społeczno-ekologicznych wymaga kompromisu. J. Fisher i in. (2017) przedstawili wypracowane w tym zakresie modele (schematy). Wytypowali oni cztery podstawowe scenariusze (archetypy) zróżnicowane pod względem poziomu bezpieczeństwa żywnościowego i bioróżnorodności, a każdy z nich charakteryzuje się w ich opinii innymi oddziaływaniami, funkcjami oraz sprzężeniami zwrotnymi. Takie podejście może pozwolić, zdaniem autorów, lepiej diagnozować stan krajobrazu oraz przewidywać przechodzenie danego krajobrazu z jednego stanu do drugiego i tym procesem zarządzać. Opracowane przez J. Fishera i in. (2017) schematy przedstawia rysunek 5.7.

**Rysunek 5.7.** Podstawowe modele społeczno-ekologiczne uwzględniające stan i zależności pomiędzy bezpieczeństwem żywnościowym i bioróżnorodnością



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Fisher i in. 2017.

Wskazane przez J. Fisher i in. (2017) cztery archetypy zostały nazwane ze względu na to, jaki czynnik, tj. bezpieczeństwo żywnościowe lub ochrona bioróżnorodności, w nim dominuje (wygrywa):

- bezpieczeństwo żywnościowe przegrywa (*lose*)/ochrona bioróżnorodności przegrywa (*lose*) = krajobrazy zdegradowane;
- bezpieczeństwo żywnościowe wygrywa (*win*)/ochrona bioróżnorodności przegrywa (*lose*) = rolnictwo intensywne;
- bezpieczeństwo żywnościowe wygrywa (*win*)/ochrona bioróżnorodności wygrywa (*win*) = agroekologia;
- bezpieczeństwo żywnościowe przegrywa (*lose*)/ochrona bioróżnorodności wygrywa (*win*) = obszary ściśle chronione (*fortress conservation*).

Na obszarach zdegradowanych zarówno bioróżnorodność, jak i bezpieczeństwo żywnościowe nie występują. Archetyp ten charakteryzuje się niskim poziomem kapitału ludzkiego, technologicznego, fizycznego, naturalnego, a czasem nawet społecznego. Skrajne ubóstwo jest powszechne, a środowisko naturalne zagrożone. Czynnikiem napędzającym bywa w tym przypadku wzrost liczby ludności, zbyt gęste zaludnienie, ekstremalne warunki klimatyczne, konflikty, skutki kolonializmu oraz nierówności. Taki system społeczno-ekologiczny może generować pułapkę ubóstwa. Wzrost populacji nie jest w nim jedynym czynnikiem degradacji środowiska, ale może się do niej znacząco przyczyniać. Najczęściej ten archetyp powstaje na terenach o słabej infrastrukturze z bardzo zmiennymi lub ekstremalnymi warunkami klimatycznymi (Fisher i in. 2017).

Archetyp „bezpieczeństwo żywnościowe wygrywa/ochrona bioróżnorodności przegrywa” charakteryzuje się wystarczającą produkcją żywności pozyskaną przez intensyfikację rolnictwa, z czego poprzez handel i konsumpcję korzysta miejscowa ludność, ale generuje to niską różnorodność biologiczną. Bezpieczeństwo żywnościowe w tym scenariuszu zapewnione jest jedynie wtedy, gdy korzyści z rolnictwa czerpie ludność lokalna. Bioróżnorodność traci, ponieważ intensywne rolnictwo ma na nią negatywny wpływ. Typowe społeczno-ekologiczne cechy systemu rolnictwa intensywnego obejmują produkcję roślin towarowych na rynki krajowe lub międzynarodowe oraz wysoką zależność od infrastruktury i nakładów zewnętrznych, w tym paliw kopalnych. Ten archetyp jest kształtowany przez globalny system gospodarczy, technologie zielonej rewolucji, a utrzymywany jest przez jego rentowność. Istnieje jednak wiele obszarów rolniczych o wysokiej intensywności, gdzie plody są w dużej mierze eksportowane – tam nie można uznać wygranej dla lokalnego bezpieczeństwa żywnościowego. Ponadto rolnictwo intensywne poprzez stosowanie małej ilości odmian, które muszą być wysoko wydajne, dużej ilości

agrochemikaliów, technologii nawadniania, co zapewnia żywność i dochody, ogranicza bioróżnorodność przez negatywny wpływ chemizacji na ekosystemy, utratę lokalnych odmian i homogenizację krajobrazu. Niewielka liczba intensywnych upraw towarowych może stanowić zagrożenie dla odporności globalnego systemu żywnościowego, a jednolita dieta zapewnia kalorie, ale pozostaje nieoptymalna z perspektywy żywieniowej. Omówiona wcześniej zrównoważona intensyfikacja jest bardziej korzystna dla bioróżnorodności niż konwencjonalna, ale szybko może ulegać przekształceniu i tracić walor zrównoważenia (Reedy i Krebs-Smith 2008, Kremen i Miles 2012, Liu i in. 2013, Fisher i in. 2017).

Archetyp obszarów ściśle chronionych zapewnia korzyści dla ochrony bioróżnorodności, ale wpływa niekorzystnie na bezpieczeństwo żywnościowe. Obszary ściśle chronione mają wpływ na poziom życia lokalnej ludności. Z globalnego punktu widzenia jest to niezbędne dla utrzymania wielu rzadkich gatunków i może stanowić jedyną możliwość ich ochrony. Niemniej ścisła ochrona może generować ubóstwo, wypieranie miejscowej ludności i ograniczanie jej dostępu do krytycznych zasobów środowiskowych. Korzyści, jakie niosą takie obszary dla bioróżnorodności, mogą szkodzić ludziom – wpływać na ograniczanie ich działalności związanej z utrzymaniem, takiej jak: wypas bydła, uprawa roślin, zbiór z natury, rybołówstwo, wykorzystanie roślin leczniczych i selektywna wycinka drzew (Sylvester i in. 2016, Fisher i in. 2017).

Ostatni archetyp – agroekologia – zapewnia równolegle ochronę bioróżnorodności i bezpieczeństwo żywnościowe. Ocenia się, że największy potencjał w osiągnięciu synergii bioróżnorodności i bezpieczeństwa żywnościowego występuje w przypadku małych gospodarstw stosujących praktyki agroekologiczne. Obecnie aż 50% gospodarstw na świecie to tradycyjne gospodarstwa rodzinne, odpowiadające za podobny odsetek światowej produkcji żywności. W gospodarstwach tych występuje duże zróżnicowanie upraw, a produkcja trafia najczęściej na rynki lokalne. Taki system, zwłaszcza tam, gdzie wykorzystuje się niewiele środków zewnętrznych, jest bardzo odporny na wstrząsy klimatyczne i rynkowe. Ponadto charakteryzuje się wysokim kapitałem społecznym i naturalnym oraz szybko dostosowuje się do ustaleń lokalnego zarządzania. Badania wskazują, że wysoki poziom interakcji z naturą, podtrzymywany i wzmacniany przez koewolucję systemów wartości i systemów użytkowania gruntów będą stanowić o utrzymaniu i rozwoju takiego systemu w długiej perspektywie. Ryzyko w tym przypadku stanowi dochodowość takich gospodarstw i to, w jakim stopniu mogą one zapewnić bezpieczeństwo materialne dużej liczbie osób, w tym mieszkańcom miast (Fisher i in. 2017).

Agroekologia to podejście zintegrowane, które jednocześnie stosuje koncepcje i zasady ekologiczne i społeczne do projektowania systemów żywności i rolnictwa i zarządzania nimi. Celem agroekologii jest optymalizacja interakcji między roślinami, zwierzętami, ludźmi i środowiskiem, z jednoczesnym uwzględnieniem aspektów społecznych, które mają na uwadze zapewnienie zrównoważonego i sprawiedliwego systemu żywności.

Agroekologia zasadniczo różni się od innych podejść do zrównoważonego rozwoju. Opiera się na oddolnych, terytorialnych procesach pomagających dostarczać kontekstowe rozwiązania lokalnych problemów. Innowacje agroekologiczne bazują na wiedzy łączącej naukę z tradycyjną oraz praktyczną, lokalną wiedzą producentów. Poprzez zwiększenie ich autonomii i zdolności adaptacyjnych agroekologia wzmacnia producentów i społeczności, stanowiących kluczowy czynnik zmian. Agroekologia stara się przekształcać systemy żywnościowe i rolnicze, zajmując się źródłowymi przyczynami problemów w sposób zintegrowany i zapewniający całościowe i długoterminowe rozwiązania. Obejmuje to wyraźne skupienie się na społecznym i ekonomicznym wymiarze systemów żywności. Agroekologia kładzie silny nacisk na prawa kobiet, młodzieży i rdzennej ludności.

FAO (2018) wskazało 10 elementów uszeregowanych w trzech grupach mających znaczenie dla agroekologii:

- podstawowe wspólne cechy systemów, praktyk i innowacji agroekologicznych: (1) *różnorodność*, (2) *synergia*, (3) *wydajność*, (4) *elastyczność*, (5) *recykling*, (6) *współtworzenie wiedzy i dzielenie się nią*;
- ważne cechy kontekstowe: (7) *wartości ludzkie i społeczne*; (8) *kultura i tradycje żywnościowe*;
- środowisko sprzyjające agroekologii: (9) *odpowiedzialne zarządzanie*, (10) *solidarna gospodarka o obiegu zamkniętym*.

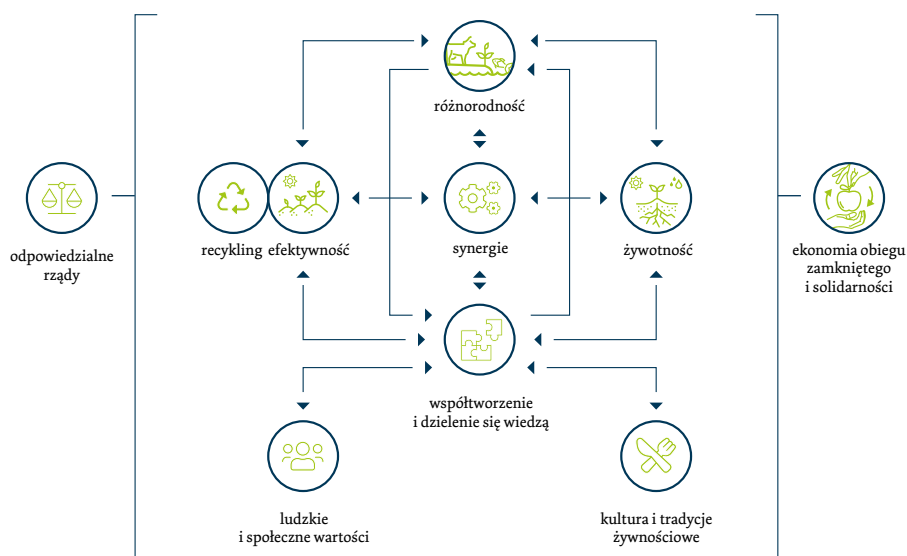
Tych 10 elementów agroekologii jest ze sobą powiązanych i współzależnych, co ilustruje rysunek 5.8.

Cztery, zaproponowane przez J. Fishera i in. (2017), omówione już archetypy nie obejmują pełnego zakresu sytuacji występujących w świecie rzeczywistym. Mogą istnieć inne ważne kombinacje cech społeczno-ekologicznych kształtujących zależność pomiędzy ochroną bioróżnorodności i bezpieczeństwem żywnościowym. Spośród scharakteryzowanych najbardziej obiecująca agroekologia może nie być jedynym schematem dla synergii, zwłaszcza gdy odejdzie się od skali lokalnej. Należy też uwzględnić, że systemy te są połączone poprzez globalne przepływy handlu, finansów, technologii i wpływu na środowisko. Dalsza analiza problemu może pozwolić w przyszłości na wypracowanie standardów zagospodarowania krajobrazu stanowiących o synergii pomiędzy ochroną bioróżnorodności i bezpieczeństwem żywnościowym. W świetle globalnych wyzwań, jakie w XXI w. stanowi poprawa bezpieczeństwa żywnościowego i poprawa



ochrony różnorodności biologicznej, należy pamiętać, że nie tyle powinno się podwoić produkcję żywności, ile skutecznie rozwiązywać problemy globalnego bezpieczeństwa żywnościowego bez negatywnego wpływu produkcji żywności na środowisko. Takie podejście będzie stanowiło o zrównoważonym rozwoju.

**Rysunek 5.8.** Zależności występujące pomiędzy wskazanymi przez FAO elementami stanowiącymi o agroekologii



Źródło: opracowanie własne na podstawie: FAO 2018.

## 5.2. Marnowanie żywności

Z szacunków Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa wynika, że każdego roku na świecie marnowane jest 1,3 mld ton żywności, co stanowi 1/3 ilości wyprodukowanego jedzenia. W Europie ilość ta, z uwzględnieniem strat generowanych przez przemysł spożywczy, sięga nawet 50% całej produkcji żywności i wynosi ok. 100 mln ton<sup>13</sup>. Przeciętny Europejczyk wyrzuca 20–30% kupowanego jedzenia, a mieszkaniec USA nawet 25–40%, przy czym aż 2/3 tych produktów nadawałoby się jeszcze do spożycia (Gustavsson i in. 2011, FAO 2011).

<sup>13</sup> W tej liczbie nie są ujęte straty odnoszące się do rolnictwa i rybołówstwa, zatem należy się spodziewać, że faktyczna skala tego zjawiska jest jeszcze większa.

Jak stwierdził papież Franciszek, współcześni konsumenci stali się jednak niewrażliwi na wyrzucanie żywności: „(...) dobrze zapamiętajmy, że wyrzucane jedzenie jest jakby skradzionym ze stołu ubogich, głodnych! Zachęcam wszystkich do zastanowienia się nad problemem utraty i marnowania żywności, aby znaleźć drogi i sposoby, które podejmując poważnie tę problematykę, byłyby nośnikami solidarności i dzielenia się z najbardziej potrzebującymi”<sup>14</sup>.

**Zmarnowana żywność** to żywność, która została **wytworzona w celu konsumpcyjnym, ale nie została spożyta przez człowieka**.

Zmarnowana żywność nie obejmuje żywności produkowanej na pasze, elementy biokomponentów czy bioenergii oraz surowców służących do produkcji opakowań.

Mimo iż dokładnych i aktualnych danych w zakresie marnowania żywności brak, nie ma też jednolitej metodyki zbierania wiarygodnych informacji o tym zjawisku, to problem jest coraz bardziej żywotny. Społeczne, ekonomiczne i środowiskowe konsekwencje marnowania żywności są coraz powszechniej dostrzegane i analizowane przez decydentów na poziomie międzynarodowym i krajowym, ale też przez zwykłych konsumentów na poziomie lokalnym. Parlament Europejski, przykładowo, wezwał kraje członkowskie do ograniczenia marnowania żywności o 50% do 2025 r. (Rezolucja... 2012). Zagospodarowanie i ograniczenie odpadów powstających w wyniku strat i marnowania żywności zostało także wpisane w „Strategię gospodarki o obiegu zamkniętym”, której efekt powinien pozwolić oszczędnie korzystać z zasobów i ograniczyć ślad środowiskowy (*Mapa drogowa...* 2016, Kopec i in. 2018, s. 52). W celu wypełnienia tych zaleceń w polskim parlamencie trwają prace legislacyjne nad ustawą o przeciwdziałaniu marnowaniu żywności. Projekt ustawy dotyczy nałożenia na sprzedawców żywności o powierzchni sprzedaży powyżej 250 m<sup>2</sup> obowiązku zawarcia z organizacją pozarządową umowy dotyczącej nieodpłatnego przekazywania żywności na cele społeczne, opłaty za marnowanie żywności (w wysokości 10 gr za każdy kilogram zmarnowanej żywności) oraz kar (nakładanych przez wojewódzkiego inspektora inspekcji handlowej) w przypadku niezawarcia takich umów (chyba że sprzedawca wykaże, że nie miał możliwości jej zawarcia), a także wprowadzenia definicji legalnych: marnowania żywności, żywności na cele społeczne, sprzedawcy żywności (Projekt ustawy... 2019). Projekt ustawy został skierowany do Komisji Gospodarki

<sup>14</sup> Fragment wypowiedzi papieża Franciszka wygłoszonej w trakcie co środowiej audycji, Rzym, 5 czerwca 2013 r.

i Rozwoju, która po szczegółowym rozpatrzeniu senackiego projektu ustawy 19 marca 2019 r. przedłożyła do Sejmu RP sprawozdanie o projekcie ustawy. Prace są nadal w toku.

Coraz częściej w działania zmierzające do ograniczenia ilości marnowanej żywności włączają się organizacje pozarządowe, np. banki żywności w Polsce, a wreszcie, dzięki kampaniom społecznym i akcjom informacyjnym, wagę problemu dostrzegają zwykli konsumenci, gotowi do aktywnego zmierzania się z nim. Przykładem mogą być akcje uświadamiające ten problem już przedszkolakom i zmierzające do modyfikacji dotychczasowych zachowań – w jednym z podkrakowskich przedszkoli w 2018 r. prowadzono akcję „Wszystko znika z talerzyka” poprzedzoną akcją informacyjną skierowaną do dzieci i ich rodziców nt. skutków marnowania żywności, czy prowadzone przez Federację Polskich Banków Żywności kampanie społeczne kierowane do producentów i konsumentów żywności „Nie marnuj jedzenia. Myśl ekologicznie”, czy „Nie marnuj jedzenia! Wyrzuć do kosza stare przyzwyczajenia” (Kwasek 2017, s. 4).

Niestety, nadal brak systemowych i odpowiednio ukierunkowanych działań zmierzających do ograniczenia ilości wyrzucanej na co dzień żywności przede wszystkim w krajach wysoko rozwiniętych. W związku z tym konieczne jest prowadzenie badań i analiz w tym zakresie, udostępnianie rzetelnej i sprawdzonej wiedzy oraz wypracowywanie takich regulacji i przepisów prawa, które pozwoliłyby skutecznie wprowadzić rozwiązania podnoszące świadomość społeczną, faktycznie ograniczać ilości marnowanej żywności i kształtować racjonalne zachowania rynkowe.

Marnowana żywność to: „produkty spożywcze odrzucone poza łańcuch rolno-spożywczy ze względów gospodarczych, estetycznych lub z powodu zbliżającej się daty utraty przydatności, które nadal jednak doskonale nadają się do spożycia i mogą być przeznaczone do konsumpcji przez ludzi, a które z braku możliwego alternatywnego sposobu wykorzystania przeznaczają się do likwidacji i utylizacji, co powoduje negatywne efekty zewnętrzne pod względem wpływu na środowisko, kosztów gospodarczych i braku dochodu dla przedsiębiorstw” (Parlament Europejski 2011, Dziliński 2012, s. 1).

Jak wynika z raportu *Marnowanie żywności w Polsce i Europie* (2012), wydanego przez Federację Polskich Banków Żywności, marnotrawstwo żywności zakłada świadome działanie niespożytkowania żywności zgodnie z jej pierwotnym przeznaczeniem na każdym etapie łańcucha żywnościowego.

FAO z kolei definiuje **straty i marnotrawstwo** żywności jako: „wszelkie produkty przetworzone, częściowo przetworzone lub nieprzetworzone, przeznaczone do spożycia przez ludzi lub których spożycia przez ludzi można się spodziewać, a także takie, które pomimo ich wytworzenia, nie zostały przez nich spożyte” (FAO 2014a).

Na tym tle nieco odróżnia się definicja zaproponowana w senackim projekcie ustawy o przeciwdziałaniu marnowaniu żywności w Polsce, która definiuje marnowanie żywności jako: „wycofywanie z etapu dystrybucji żywności, która spełnia wymogi prawa żywnościowego, w tym określone w rozporządzeniu (WE) nr 178/2002, w szczególności ze względu na zbliżający się upływ terminu przydatności do spożycia lub daty minimalnej trwałości lub ze względu na wady wyglądu tych środków spożywczych albo ich opakowań i przeznaczanie ich do unieszkodliwiania jako odpady” (Projekt ustawy... 2019). Definicja ta zawęża problem marnowania żywności tylko do etapu sprzedaży, który – jak wynika z dostępnych danych – stanowi jedynie 5% wszystkich strat w tym względzie (European Commission 2011).

Marnotrawstwo żywności to problem krajów wysoko rozwiniętych, który dotyczy głównie konsumentów i dystrybutorów żywności. Do marnotrawstwa dochodzi, gdy produkty zdane do spożycia wyrzucane są do kosza. Straty żywności natomiast mają miejsce głównie w krajach rozwijających się, gdzie głównymi przyczynami marnowania są: brak wiedzy o właściwym przechowywaniu żywności, braki w infrastrukturze, psucie się żywności z uwagi na trudne warunki klimatyczne, niegospodarność, niską jakość surowca czy błędy podczas produkcji, przetworstwa, transportu, bądź przechowywania na poziomie zakładów produkcyjnych. Do strat żywności dochodzi głównie na etapie produkcji (ok. 40%), natomiast na poziomie konsumpcji są one zdecydowanie mniejsze. Jednocześnie wielkość i udział powstających strat i marnowanie żywności zależą od rodzaju żywności, jej stopnia przetworzenia, poziomu rozwoju danego regionu czy kraju oraz od etapu łańcucha rolno-żywnościowego, w którym powstają. Rocznie na przeciętnego mieszkańca krajów rozwiniętych, np. regionu Ameryki Północnej i Oceanii, przypada 296 kg żywności, która podlega stratom i jest marnowana. Odpowiednio na mieszkańca krajów rozwijających się, np. Azji Południowej i Południowo-Wschodniej, przypada 126 kg, a regionu Afryki Subsaharyjskiej – 167 kg tej kategorii żywności, z czego straty stanowią ponad 95% ogólnej ilości (HLPE 2014).

W Europie i Ameryce Północnej przeciętna osoba wyrzuca średnio ok. 95–115 kg jedzenia rocznie. Dla porównania w krajach Afryki Subsaharyjskiej wskaźnik ten wynosi ok. 6–11 kg (Gustavsson i in., 2011). W Unii Europejskiej najmniej żywności wyrzucają Grecy – 44 kg rocznie, mieszkańcy Malty – 62 kg i Czesi – 71 kg, a najwięcej Holendrzy – 579 kg, Belgowie – 399 kg i Cypryjczycy – 334 kg w przeliczeniu na mieszkańca rocznie (BCFN 2012).

Do marnowania i strat żywności może dochodzić na każdym z etapów jej cyklu życia:

- na etapie produkcji – straty żywności wynikają z czynników środowiskowych, np. suszy czy kłęski urodzaju, niewłaściwego składowania i przechowywania zebranych plonów, niezgodności surowców z regulacjami i specyfikacjami;

- na etapie przetwarzania zbiorów – w pierwszym etapie po zebraniu upraw ograniczenia techniczne uniemożliwiają efektywne przetwarzanie surowców, np. brak odpowiednich magazynów, chłodni, dojrzewalni;
- na etapie przetwórstwa przemysłowego – ograniczenia związane z pakowaniem, marketingiem i transportem;
- na etapie dystrybucji i sprzedaży – straty żywności powstają w wyniku niewłaściwego prognozowania popytu i podaży, nadmiernych zakupów;
- na etapie konsumpcji indywidualnej i zbiorowej, czyli w domach, restauracjach, zakładach żywienia zbiorowego marnowanie żywności wynika m.in. z nadmiernych porcji posiłków, nadmiernych zakupów, stosowania nieodpowiednich metod przechowywania żywności, złego gospodarowania produktami, nieprzestrzegania terminów ich przydatności do spożycia.

Jak wynika z dostępnych statystyk, w UE najwięcej żywności marnuje się na końcu łańcucha dostaw, czyli na etapie dystrybucji i konsumpcji. W gospodarstwach domowych marnowane jest aż 42% żywności, z czego dwie trzecie wyrzucanych produktów nadal nadaje się do spożycia. Na etapie produkcji dochodzi do marnowania 39% ogólnej ilości żywności, dystrybucji, w tym cateringu 14%, zaś sprzedaży, w tym w sieciach handlowych – 5% (European Commission 2011, Obiedzińska 2017, s. 131).

W Polsce co roku marnuje się ok. 9 mln ton żywności, co plasuje nasz kraj na 5. pozycji w Unii Europejskiej po Wielkiej Brytanii, Niemczech, Francji i Holandii. Średnio każdy Polak w swoim gospodarstwie domowym wyrzuca ok. 52 kg żywności rocznie. Po uwzględnieniu wcześniejszych etapów cyklu życia produktu żywnościowego, czyli produkcji, przetwórstwa, dystrybucji, ilość wyrzucanej żywności w przeliczeniu na jednego Polaka rośnie nawet do 250 kg na osobę w skali roku. O ile w krajach Europy Zachodniej za większość strat i zmarnowanej żywności odpowiedzialni są konsumenci, o tyle w Polsce są to producenci (Stępień i Dobrowolski 2017, s. 305).

W Polsce w skrajnym ubóstwie żyje ok. 2,5 mln osób, a 1/4 Polaków ze względów ekonomicznych nie spożywa pełnowartościowych posiłków.

**Nawet 2,5 tys. zł rocznie traci w Polsce czteroosobowa rodzina, wyrzucając żywność niezjedzoną w swoim gospodarstwie domowym.**

W Polsce, w przeciwieństwie do innych krajów UE, najwięcej żywności marnuje się na etapie produkcji – branża spożywcza generuje blisko 6,6 mln ton odpadów żywnościowych. Gospodarstwa domowe marnują ponad 2 mln ton

żywności, a do wyrzucania żywności przyznaje się 35% Polaków, co z pewnością jest wielkością zaniżoną, bo jak twierdzą eksperci, konsumenci mają świadomość naganności takich praktyk, więc się nie przyznają lub zaniżają deklarowaną ilość wyrzucanego jedzenia. Im lepiej wykształcony respondent, tym mniej chętnie przyznaje się do tego, że wyrzuca żywność i że brakuje mu wiedzy, jak temu przeciwdziałać. Na etapie dystrybucji marnuje się w Polsce 0,35 mln ton żywności (European Commission 2011).

**Rysunek 5.9.** Ilość żywności marnowanej w Polsce



Źródło: Rosińska-Jęczmienionka 2017.

Najistotniejszą przyczyną marnowania żywności jest nadmierny konsumpcjonizm. Nadmierna i nie zrównoważona konsumpcja jest wynikiem szybkiego wzrostu gospodarczego, zapoczątkowanego w drugiej połowie XX w., industrializacji i urbanizacji poszczególnych regionów i krajów oraz zwiększenia zamożności społeczeństw. Podwyższenie jakości życia oraz postęp techniczny w procesach produkcji doprowadziły do konsumpcji w znacznym stopniu przekraczającej faktyczne potrzeby współczesnego konsumenta. W obecnych czasach duża część społeczeństwa czerpie satysfakcję z samego faktu kupowania, dokonywania wyboru towarów lub usług, a nie zaspokajania potrzeb (Krajewski i in. 2014, s. 851).

Najczęstsze przyczyny marnowania żywności przez branżę spożywczą to:

- produkcja nadmiernej ilości produktów żywnościowych;
- utylizacja niesprzedanej żywności na skalę masową przez producentów i dystrybutorów żywności, z uwagi na m.in. uszkodzenie opakowania zbiorczego,



- zbyt dużych porcji posiłków (15%),
- niewłaściwego przechowywania żywności (13%),
- braku pomysłów na wykorzystanie składników do różnych dań (5%),
- braku listy zakupów (1%),
- innych powodów (1%).

Marnowanie żywności to przede wszystkim problem natury społecznej (etycznej) – wyrzucanie pełnowartościowych produktów w sytuacji, kiedy ponad miliard ludzi na świecie cierpi z powodu głodu i niedożywienia, prowadzi do zwiększonego zapotrzebowania na żywność, a w konsekwencji do wzrostu jej cen. W efekcie konsumenci będą skłonni nabywać produkty niższej jakości, gorzej zbilansowane pod względem wartości odżywczych, co może prowadzić do ubóstwa jakościowego produktów spożywanych przez całe rodziny (Stępień i Dobrowolski 2017, s. 310). Nadmierny konsumpcjonizm prowadzący do marnowania żywności może przyczynić się do pogłębienia problemów z dostępnością żywności w krajach rozwijających się i do osłabienia siły nabywczej ubogiej ludności.

Marnowanie żywności w skali świata niesie ze sobą także skutki ekonomiczne i ekologiczne (Bernstad i Andresson 2015, s. 222–224; Buchner i in. 2012). Wpływa bowiem na:

- generowanie strat finansowych przez przedsiębiorstwa całego łańcucha żywnościowego, wynikających z braku zapłaty za wytworzony (transportowany, magazynowany, przeznaczony do sprzedaży) produkt, który zamiast zostać nabyty i skonsumowany, został utracony. Powoduje to pierwotnie straty wynikające z zużycia zasobów naturalnych, zakupu surowców, wytworzenia lub nabycia opakowań, eksploatacji maszyn, kosztów pracy czy utrzymania systemów niezbędnych do zagwarantowania bezpieczeństwa zdrowotnego żywności. Dodatkowo zagospodarowanie marnowanej żywności wymaga poniesienia dalszych kosztów związanych z jej utylizacją, wywozem na wysypisko, opłatami czy podejmowaniem działań prewencyjnych. W skali świata szacuje się, że straty te stanowią ok. 750 mln dolarów rocznie, a w największym stopniu składają się na nie marnowane warzywa, mięso, owoce, zboża, w tym pieczywo oraz mleko (FAO 2013, Kołożyn-Krajewska 2016, s. 5);
- nieracjonalne postępowanie z żywnością – oznacza ono utratę wartości odżywczych i kalorii, które zasiliłyby organizmy konsumentów, a są tracone i marnowane wraz z 1,3 mld ton żywności rocznie. Odpowiada to utracie 24% wszystkich kilokalorii pochodzących z wyprodukowanej żywności. Z uwagi na udział w marnowanej żywności w największym stopniu dotyczy to zbóż i produktów zbożowych, głównie pieczywa, z uwagi na ich udział w utraconej i zmarnowanej żywności (Lipiński i in. 2013);



- zwiększanie ilości śmieci – w Wielkiej Brytanii ponad 25% wyrzucanej żywności jest w nienapoczętych opakowaniach (*Food Statistics...* 2012);
- środowisko naturalne – produkcja żywności, bez względu na to, czy żywność ta jest spożywana, czy marnotrawiona, wywiera na nie negatywny wpływ. Marnowanie żywności oznacza utratę nie tylko niezbędnych do życia składników odżywczych, lecz również ograniczonych zasobów naturalnych – gruntów, wody i energii użytych w procesach produkcji, przetwarzania i dystrybucji żywności. Dotyczy to zwłaszcza marnowania produktów pochodzenia zwierzęcego, których produkcja pochłania znacznie większe ilości zasobów niż produkcja żywności pochodzenia roślinnego;
- zmiany klimatu – energochłonna produkcja żywności, a tym bardziej jej marnowanie przyspiesza zmiany klimatyczne. Ok. 20% produkcji gazów cieplarnianych wiąże się z produkcją, przetwarzaniem, transportem i przechowywaniem żywności, a z wyrzucaną żywnością rocznie do atmosfery trafia 3,3 mld ton gazów cieplarnianych (*Marnując żywność...* 2018). Metan pochodzący z gnijącej żywności jest nawet 20-krotnie groźniejszy gazem cieplarnianym niż CO<sub>2</sub>. Żywność zmarnowana w samej tylko Europie oznacza emisję do atmosfery 170 mln ton CO<sub>2</sub> rocznie, tyle, ile emituje rocznie przykładowo Szwajcaria (FAO 2015);

**9 mln ton** żywności marnowanej rocznie w Polsce oznacza

**22,77 mln ton CO<sub>2</sub> wyemitowanych do atmosfery,**

to tyle, ile **wszystkie samochody osobowe w Polsce emitują w ciągu roku.**

- znaczne zużycie wody – marnowanie żywności to marnowanie wody (wylańnię 1 szklanki mleka odpowiada zmarnowaniu 1 tys. l wody, wyrzucenie 1 kg chleba oznacza zmarnowanie 1,3 tys. l wody, a 1 kg wyrzuconej wołowiny – to zmarnowanie 15,5 tys. l wody użytej na jej wyprodukowanie). Należy zauważyć, że w związku z faktem, iż Polska ma jedne z najmniejszych w Europie zasoby wody, marnowanie żywności będzie pogłębiać problem susz i problemy z zapewnieniem odpowiedniej ilości wody do konsumpcji i do celów gospodarczych;

**9 mln ton** żywności marnowanej rocznie w Polsce oznacza

**1,72 mld m<sup>3</sup> wody,** którą marnuje się do jej wyprodukowania,

to tak, jakby **każdy Polak wylewał codziennie 100 1,5-litrowych butelek wody.**

- zużycie dużej ilości energii – wytworzenie każdego bochenka chleba, torebki cukru czy kartonu napełnionego mlekiem oznacza konkretne ilości kilowatogodzin energii zużytej w procesie produkcyjnym. Wyrzucenie do śmietnika niepotrzebnej żywności oznacza nie tylko bezpośrednie straty materialne – to także marnotrawstwo prądu;
- podwójne obciążenie środowiska – z jednej strony wynika ono z nakładów poniesionych na produkcję żywności – eksploatacja ograniczonych zasobów naturalnych (woda, ziemia, energia), a z drugiej – z utylizacji powstałych strat i marnotrawstwa, m.in. emisja gazów cieplarnianych ( $N_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ) (Garnet 2011, s. 27);
- generowanie istotnych strat finansowych, zarówno dla poszczególnych konsumentów, jak i dla gospodarki (w skali świata rocznie oszacowano je na ponad 1 bln USD) (FAO 2014b, s. 78). Podobnie jak w przypadku wpływu na środowisko, straty ekonomiczne ulegają kumulacji w łańcuchu dostaw, co oznacza, że tona żywności marnotrawionej w gospodarstwie domowym (tj. na ostatnim etapie łańcucha) wiąże się z dużo wyższymi kosztami dla środowiska i gospodarki niż tona żywności, która jest marnotrawiona w sektorze produkcji. Koszty środowiskowe, wynikające m.in. z emisji gazów cieplarnianych, przy produkcji i utylizacji żywności, jak i niedostatku wody łącznie zostały oszacowane na 700 mln USD w skali roku (FAO 2014b, s. 77);
- straty żywności – prowadzą one do wzrostu jej cen i tym samym wpływają na ograniczenie możliwości zapewnienia ekonomicznego i fizycznego dostępu do żywności dla znacznej grupy gorzej sytuowanych nabywców.

**9 mln ton** żywności marnowanej rocznie w Polsce oznacza  
**250 kg żywności zmarnowanej w przeliczeniu na jednego Polaka,**  
**w Europie średnio to 179 kg, a w krajach afrykańskich zaledwie 10 kg na osobę,**  
to tak, jakby **każdy Polak wylewał codziennie 100 1,5-litrowych butelek wody.**

Analizę skutków strat żywności i możliwości ich ograniczenia na podstawowych etapach łańcucha rolno-spożywczego, czyli w produkcji podstawowej, przetwórstwie, logistyce i handlu, przedstawiono w tabeli 5.1. Szczególną uwagę zwrócono na etapy, w których możliwe jest przekazanie żywności organizacjom pożytku publicznego celem prewencji marnowania żywności.

**Tabela 5.1.** Analiza skutków strat żywności i możliwości ich ograniczenia w produkcji podstawowej, przetwórstwie, logistyce i handlu

Etap	Przyczyny strat	Skutek	Możliwości ograniczenia
Produkcja podstawowa	nieodpowiednie warunki produkcji i/lub magazynowania	surowce nie nadają się do wykorzystania	poprawa warunków produkcji i/lub magazynowania
	surowce odrzucone ze względu na niepożądane parametry	warunkowa możliwość wykorzystania surowców	przekazanie organizacjom pożytku publicznego
		brak możliwości wykorzystania surowców – utylizacja	poprawa warunków produkcji
	ubytki naturalne	zmniejszenie masy surowców	poprawa warunków magazynowania
	nadprodukcja	surowce nadają się do wykorzystania	przekazanie organizacjom pożytku publicznego
	klęski żywiołowe	surowce nie nadają się do wykorzystania	–
	załamanie się rynku zbytu	surowce nadają się do wykorzystania	przekazanie organizacjom pożytku publicznego
Przetwórstwo	błędy w czasie procesu produkcyjnego	produkty nie nadają się do sprzedaży i konsumpcji – utylizacja (np. brak bezpieczeństwa zdrowotnego)	zapobieganie błędom
		produkty nie nadają się do sprzedaży, ale mogą zostać skonsumowane, np. błędy na etykietach, niewłaściwa masa produktu	przekazanie organizacjom pożytku publicznego
	nadprodukcja załamanie się rynku zbytu	produkty nadają się do konsumpcji (niedopuszczenie do przekroczenia terminu przydatności do spożycia)	przekazanie organizacjom pożytku publicznego
		produkty nie nadają się do konsumpcji (przekroczenie terminu przydatności do spożycia) – utylizacja	zapobieganie przekroczeniu terminu przydatności do spożycia
	przyjęcie surowców o niewłaściwej jakości	utylizacja	poprawa procedury przyjęcia surowców

Etap	Przyczyny strat	Skutek	Możliwości ograniczenia
Przetwórstwo	straty wynikające z niedoskonałości procesów produkcji	niższa wydajność procesów	poprawa procesów produkcyjnych
	awarie urządzeń i/lub przerwy w dostawie mediów	straty surowców, półproduktów, produktów	zapobieganie
Logistyka	uszkodzenie mechaniczne opakowań zbiorczych i/lub jednostkowych	produkty nie nadają się do sprzedaży, mogą zostać skonsumowane	przekazanie organizacjom pożytku publicznego
		produkty nie nadają się do sprzedaży i konsumpcji – utylizacja	zapobieganie uszkodzeniom
	przerwanie łańcucha chłodniczego (nieodpowiednie warunki przechowywania i rozładunku)	produkty nie nadają się do sprzedaży	poprawa organizacji łańcucha chłodniczego
	awaria środka transportu, chłodni	produkty nie nadają się do sprzedaży	zapasowe urządzenia, środki transportu
		produkty nadają się do konsumpcji	przekazanie organizacjom pożytku publicznego
	przeszacowanie zamówień	produkty nie nadają się do sprzedaży (przekroczenie terminu przydatności do spożycia) – utylizacja	poprawa zarządzania zamówieniami
produkty nadają się do konsumpcji (bliski termin przydatności do spożycia)		przekazanie organizacjom pożytku publicznego	
Handel	uszkodzenie mechaniczne opakowań zbiorczych i/lub jednostkowych	produkty nie nadają się do sprzedaży, mogą zostać skonsumowane	przekazanie organizacjom pożytku publicznego
		produkty nie nadają się do sprzedaży i konsumpcji – utylizacja	zapobieganie uszkodzeniom
	niewłaściwe prognozowanie popytu nieprawidłowe strategie marketingowe	produkty nie nadają się do sprzedaży (przekroczenie terminu przydatności do spożycia) – utylizacja	poprawa zarządzania zamówieniami, właściwe stosowanie zasady FIFO
		produkty nadają się do konsumpcji (bliski termin przydatności do spożycia)	przekazanie organizacjom pożytku publicznego

Etap	Przyczyny strat	Skutek	Możliwości ograniczenia
Handel	przerwanie łańcucha chłodniczego (nieprawidłowe warunki przechowywania)	produkty nie nadają się do sprzedaży i konsumpcji – utylizacja	monitoring działania urzędzeń chłodniczych, zapasowe urządzenia

Źródło: Kołozyn-Krajewska 2016, s. 14–15.

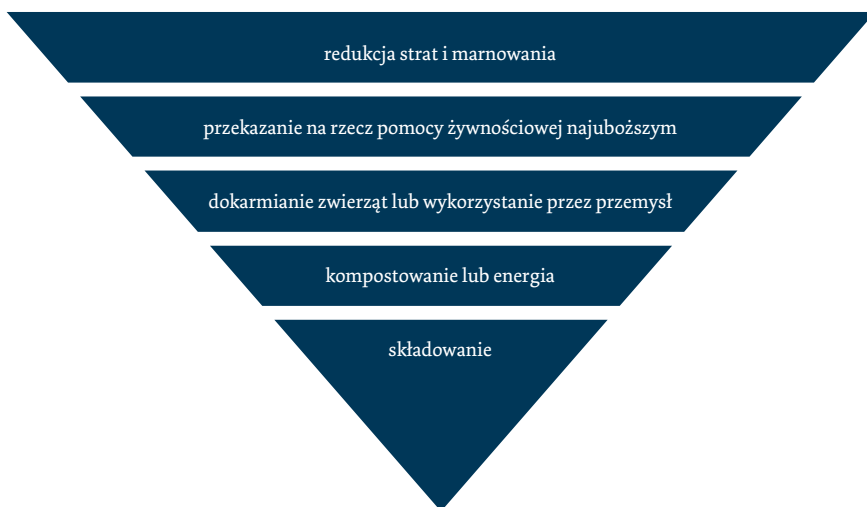
Szansą na przeciwdziałanie stratom i marnotrawstwu żywności jest idea zrównoważonej produkcji i konsumpcji (*sustainable production and consumption* – SCP), jako element tzw. zielonej gospodarki (*green economy*). Zakłada ona taki poziom korzystania z dóbr i usług, który zapewnia zaspokojenie potrzeb i osiągnięcie lepszej jakości życia przez obecne pokolenia, a który nie stanie się jednocześnie barierą dla zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń i będzie wiązał się z obniżeniem zużycia zasobów naturalnych i energii, ograniczeniem emisji odpadów i innych zanieczyszczeń środowiska naturalnego (Stępień i Dobrowolski 2017, s. 312).

Uwzględniając skalę i koszty marnowania oraz strat żywności, konieczne jest podejmowanie odpowiednich działań służących minimalizowaniu ilości traczonej i marnowanej żywności. W związku z tym opracowano hierarchię postępowania z odpadami żywnościowymi, która ma przede wszystkim zapobiegać powstawaniu odpadów żywnościowych, a jeśli to niemożliwe – odpowiednio nimi zarządzać (rys. 5.11). Obejmuje ona według zalecanej kolejności i pożyteczności działań:

- 1) **zapobieganie powstawaniu strat i marnotrawstwa żywności** na każdym etapie łańcucha rolno-żywnościowego, m.in. poprzez optymalizację produkcji, magazynowania i transportu żywności, kampanie informacyjne i szkolenia w zakresie przeciwdziałania stratom i marnowaniu żywności u źródła, np. przez sprzedaż produktów o zbliżającej się dacie utraty przydatności do spożycia po obniżonej cenie oraz sposobów eliminacji i ograniczenia marnowania i strat żywności na wszystkich etapach cyklu życia produktu żywnościowego. Obecnie podejmowanych jest wiele inicjatyw w tym zakresie. Na poziomie globalnym przykładem jest program *Safe Food*, na poziomie UE – Unijna Platforma dot. Strat i Marnotrawstwa Żywności, a na poziomie krajowym od 2011 r. funkcjonuje Rada ds. Zrównoważonego Wykorzystywania Żywności. Ich celem jest m.in. podnoszenie wiedzy i świadomości wszystkich uczestników rynku na temat stanu i konsekwencji marnowania żywności oraz sposobów przeciwdziałania im. Dostarczane są praktyczne wskazówki dotyczące przechowywania żywności i wykorzystania produktów, które optimum swojej jakości już utraciły, ale nadal nadają się do spożycia, a także

poprawnego rozumienia znaków umieszczonych na opakowaniu żywności (np. na poziomie UE rozróżnienie terminów przydatności do spożycia „najlepiej spożyć przed” (wiąże się z jakością produktu, która po tej dacie może być nieco niższa, ale produkt nadal nadaje się do spożycia) i „należy spożyć do” (wiąże się z bezpieczeństwem produktu, który po tej dacie nie nadaje się do konsumpcji przez ludzi), a które przeciętnemu konsumentowi nastroczają bardzo wiele wątpliwości i przyczyniają się do wyrzucania wielu wciąż nadających się do spożycia produktów);

**Rysunek 5.11.** Hierarchia postępowania z marnowaną żywnością



Źródło: Federacja Polskich Banków Żywności.

- 2) **redystrybucja żywności zdatnej do spożycia**, która w zależności od etapu łańcucha rolno-żywnościowego nie trafiła jeszcze do obrotu (np. z powodu nieopłacalności zbioru w sytuacji klęski urodzaju bądź niespełnienia kryteriów handlowych, np. nierówne wybarwienie jabłek) lub została z niego, z różnych przyczyn, wycofana (np. z powodu bliskiej daty przekroczenia terminu przydatności do spożycia lub naruszenia opakowania zbiorczego) (Lipiński i in. 2013);
- 3) **dokarmianie zwierząt (pasze), odzysk składników żywnościowych przez przemysł** – wykorzystanie żywności nienadającej się do konsumpcji przez ludzi, lecz spełniającej wymogi bezpieczeństwa, do pasz do karmienia zwierząt lub wykorzystywanie tej żywności do pozyskania z niej substancji bioaktywnych wykorzystywanych do produkcji żywności funkcjonalnej,

np. pozyskanie skrobi, błonnika lub wykorzystanie otręb ryżowych do wytwarzania oleju ryżowego (Obiedzińska 2017, s. 138);

- 4) **kompostowanie i odzysk energii** – odpady niemożliwe do uniknięcia są przeznaczone do kompostowania, produkcji nawozów, które zasilą wyjąłowaną przez uprawę glebę, lub do pozyskania energii, która zostanie wykorzystana do ogrzewania lub transportu;
- 5) **składowanie odpadów** – najmniej preferowana forma postępowania z odpadami, mająca zdecydowanie negatywny wpływ na środowisko.

By walczyć z marnowaniem żywności na poziomie konsumpcji indywidualnej, należy stosować **zasadę 4P**: planuj – przetwarzaj – podziel się – posegreguj (rys. 5.12).

**Rysunek 5.12.** Zasada 4P jako sposób walki z marnowaniem żywności



Źródło: Federacja Polskich Banków Żywności.

Wdrażanie zasady 4P w życie oznacza, że konsument będzie:

- kupował i jadł mniej, mniej będzie wyrzucać;
- **planować zakupy i zapisywać produkty do kupienia na kartce.** Pozwoli to ograniczyć nadmierny konsumpcjonizm, w tym nieprzemysłane, impulsywne zakupy. Należy również planować posiłki z kilkudniowym wyprzedzeniem i kupować tylko te rzeczy, które są potrzebne do ich przygotowania. Należy wykorzystywać resztki z dnia poprzedniego, być kreatywnym i elastycznym w kuchni, wyrzucać tylko to, co naprawdę konieczne;
- **uważać na promocję.** „Tańsze zakupy” często wcale tanie nie są, bo kupuje się za dużo i część żywności się marnuje;
- **sprawdzać termin przydatności żywności do spożycia** – konieczne jest prowadzenie kampanii umożliwiających właściwe zrozumienie terminów „najlepiej spożyć przed” i „należy spożyć do”. Producenci żywności powinni wprowadzić podwójne etykietowanie żywności datą minimalnej trwałości

i maksymalnym terminem, w którym nadaje się on do spożycia po upływie daty minimalnej trwałości;

- **kupować towary o upływającym niebawem terminie przydatności do spożycia i w uszkodzonych opakowaniach zbiorczych**, które powinny być dostępne w wydzielonym miejscu w sklepie po obniżonej cenie;
- **odpowiednio przechowywać jedzenie, sprawdzać daty przydatności do spożycia i stosować zasadę FIFO** (*first in – first out*, pierwsze wchodzi – pierwsze wychodzi). Śledząc daty podawane na opakowaniu produktu, można ustalić prawidłową kolejność spożycia produktów, co umożliwia zaplanowanie wykorzystania artykułu przed momentem, w którym nie będzie już zdatny do spożycia. Wprowadzenie zasady FIFO ułatwia układanie produktów w lodówce – jeżeli coś zostało kupione wcześniej, powinno być wcześniej zjedzone (produkty powinny stać z przodu półki) niż produkt kupione później (powinny stać z tyłu półki), chyba że data przydatności do spożycia wymusza ich inne ułożenie;
- **dzielić się jedzeniem**, co sprawia radość zarówno tym obdarowanym, jak i obdarowującym. Ale ma też aspekt dodatkowy – zapobiega marnowaniu jedzenia;
- korzystać z tego, co wyrzucili inni – rozwój **freeganizmu**. Jest to antykonsumpcyjny styl życia, który obejmuje poszukiwanie żywności już wyrzuconej do śmieci, ale także proszenie o nadmiarowe i niepotrzebne towary, zanim zostaną one wyrzucone przez restauracje, sprzedawców z targowisk lub hipermarkety, i wykorzystywanie jej do celów konsumpcyjnych;
- promować i **wprowadzać w życie ideę zrównoważonej produkcji i zrównoważonej konsumpcji** poprzez dążenie do jak najlepszego wykorzystania surowców naturalnych tak, aby zapewnić trwały rozwój cywilizacyjny przy oszczędnym korzystaniu z zasobów środowiska przyrodniczego. Wydajniejsze procesy produkcyjne i efektywniejsze systemy zarządzania pozwalają obniżyć koszty działalności, ograniczyć ilość wytwarzanych zanieczyszczeń i odpadów oraz zaoszczędzić wodę i inne zasoby naturalne;
- wybierać **produkty w opakowaniach podzielnych** oraz niewielkich opakowaniach dostosowanych do potrzeb gospodarstw jednoosobowych – mniejsze opakowania to mniejsze porcje za mniejszą cenę. Część konsumentów chce ograniczyć korzystanie z określonych produktów, ale nie chce z nich całkowicie zrezygnować;
- promować **powstawanie sklepów i stoisk z żywnością przecenioną**, z uwagi na krótki termin przydatności do spożycia.



Systemowe działania służące ograniczeniu marnowania żywności w Polsce obejmują m.in.:

1) **działalność Federacji Polskich Banków Żywności** – 31 banków żywności działających na terenie całego kraju tworzy związek stowarzyszeń o statusie organizacji pożytku publicznego działających w oparciu o:

- zasadę *non-profit* – działalność bez zysku – realizowana poprzez bezpłatne pozyskiwanie żywności i jej bezpłatne przekazywanie najbardziej potrzebującym,
- zasadę kierowania żywności do potrzebujących poprzez organizacje charytatywne zajmujące się bezpośrednio dożywianiem,
- zasadę apolityczności i różnorodności światopoglądowej.

W 2017 r. banki żywności przekazały pomoc do 3342 organizacji i instytucji społecznych i wsparły tym samym 1 447 844 osób potrzebujących w Polsce, przekazując łącznie ponad 65 500 ton żywności na cele społeczne o łącznej wartości ponad 284 mln zł. Przekazywana żywność trafiła do jadłodajni, świetlic środowiskowych, noclegowni i domów dla bezdomnych, ośrodków wychowawczych, hospicjów, ośrodków wsparcia dla kobiet samotnie wychowujących dzieci, domów dziecka oraz innych instytucji zajmujących się pomocą osobom potrzebującym. Banki żywności pozyskiwały i przekazywały produkty spożywcze, takie jak: owoce i warzywa, ryż, makaron, napoje, mleko, sery, pieczywo oraz słodycze (Banki Żywności 2018);

2) **projekt MOST** – model ograniczania strat i marnowania żywności z korzyścią dla społeczeństwa – realizowany w ramach dofinansowania NCBiR, którego celem było wskazanie, na przykładzie łańcucha produkcji i przetwórstwa mleka, przyczyn strat żywności i punktów krytycznych, w których one zachodzą oraz opracowanie praktycznej procedury współpracy, która określiła zasady przekazywania żywności na cele społeczne. Opracowany w ramach projektu system MOST w sposób systemowy obejmuje identyfikację i ocenę ryzyka poniesienia strat żywności oraz sposoby zarządzania nimi i komunikowania pomiędzy zainteresowanymi stronami, w tym beneficjentami pomocy żywnościowej. Wyznaczenie potencjalnych punktów odzysku i wdrożenie procedury MOST ułatwiło racjonalne gospodarowanie produktami żywnościowymi na poziomie przedsiębiorstw i ich efektywną dystrybucję (Wrzosek i in. 2017, s. 154; Bilaska i Kołożyn-Krajewska 2018, s. 24–25);

3) **projekt PROM** – opracowanie systemu monitorowania marnowanej żywności i efektywnego programu racjonalizacji strat i ograniczania marnotrawstwa żywności, realizowany w okresie od 1 września 2018 r. do 31 sierpnia 2021 r. przez konsorcjum, którego liderem jest Federacja Polskich Banków Żywności, a partnerami są: Instytut Ochrony Środowiska – PIB, Szkoła

Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolniczego oraz Polskie Towarzystwo Technologów Żywności. Rezultaty projektu mają zostać wykorzystane w kształtowaniu krajowej polityki ograniczania strat i marnotrawstwa żywności, dzięki czemu porządek instytucjonalny w Polsce zostanie dopasowany do rozwiązań w krajach unijnych. W ramach prac konsorcjum zostaną przeprowadzone działania wdrożeniowe dotyczące utworzenia rozwiązań informatycznych służących do agregacji danych z zakresu redystrybucji żywności na cele społeczne. Projekt finansowany jest przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu GOSPOSTRATEG (*Banki Żywności. Prom* 2018);

- 4) **projekt „EkoMisja Nie Marnuję”** – finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej – ma za zadanie, poprzez działania edukacyjne pokazujące pozytywne aspekty ograniczenia marnowania żywności dla indywidualnych konsumentów (oszczędność pieniędzy, oszczędność energii, wody, surowców, troska o planetę, odpowiedzialność społeczna) oraz kreowanie mody na niemarnowanie żywności, zwiększać świadomość, głównie dzieci i młodzieży oraz dorosłych (rodziców, nauczycieli), na temat ekologicznych skutków marnowania żywności. W ramach projektu powstała kampania społeczna „Marnując Żywność – Marnujesz Planetę”. Projekt zakłada działania edukacyjne w szkołach podstawowych na lata 2018–2020, realizowane przez edukatorów z banków żywności. Udział w projekcie bierze 200 szkół podstawowych oraz 42 tys. uczniów. Projekt zakłada zainicjowanie ekologicznych kół tematycznych – szkolnych klubów niemarnowania, których ideą będzie rozwijanie myślenia ekologicznego oraz kształtowanie postaw proekologicznych (*Banki Żywności. Ekomisja* 2018).

**W Ustawie z dnia 19 lipca 2019 r. o przeciwdziałaniu marnowaniu żywności dla sprzedawców żywności<sup>15</sup>** został wprowadzony obowiązek zawarcia umowy z organizacją pozarządową, której przedmiotem jest nieodpłatne przekazywanie żywności spełniającej wymogi prawa żywnościowego, a nieprzeznaczonej do sprzedaży, w szczególności ze względu na wady wyglądu tej żywności albo jej opakowań.

Straty i marnowanie żywności są konsekwencją nieefektywnego funkcjonowania obecnego systemu żywnościowego zarówno w Europie, jak i w skali świata. Niosą one wiele negatywnych skutków, które mogą być efektywnie

---

<sup>15</sup> Podmiotem obowiązany do zawarcia umowy będzie sprzedawca żywności prowadzący przedsiębiorstwo spożywcze w zakresie sprzedaży żywności w jednostce handlu detalicznego lub hurtowego o powierzchni sprzedaży powyżej 250 m<sup>2</sup>, w której przychody ze sprzedaży żywności stanowią co najmniej 50% przychodów ze sprzedaży wszystkich towarów.

ograniczone, lub nawet wyeliminowane przez zwiększanie świadomości zarówno decydentów, jak i przeciętnych konsumentów na temat skali i konsekwencji tego zjawiska oraz przez podejmowanie odpowiedzialnych decyzji i działań na wszystkich etapach łańcucha rolno-żywnościowego. Podejmując działania prewencyjne, należy nie dopuszczać do marnowania żywności, poszukiwać sposobów odzyskiwania produktów żywnościowych i wykorzystywać je zgodnie z przeznaczeniem, m.in. przekazując je na cele charytatywne, realizując tym samym „Strategię gospodarki o obiegu zamkniętym”. Istnieje konieczność podjęcia konkretnych działań minimalizujących zjawisko marnotrawienia żywności, wymiany doświadczeń i praktyk na poziomie międzynarodowym, jak również współpracy międzysektorowej w łańcuchu żywnościowym „od pola do stołu”. By ograniczyć negatywny wpływ marnowania żywności na środowisko, niezbędne jest wprowadzenie mechanizmów rozszerzonej odpowiedzialności producenta, ekoprojektowanie opakowań do żywności i wspieranie rozwoju ekoinnowacji w zakresie przechowywania żywności (*Mapa drogowa...* 2016).

Tylko solidarne działanie, zarówno w krajach rozwiniętych, jak i rozwijających się, może przynieść wymierne efekty, które pozwolą wyżywić obecne i przyszłe pokolenia, ograniczając przy tym negatywny wpływ na środowisko i unikając strat finansowych. By zapewnić skuteczność systemowych działań prewencyjnych, należy opracować jednolite strategie działania i metodologię w zakresie szacowania strat i marnotrawstwa żywności. Niezbędne jest też stałe podnoszenie świadomości producentów i konsumentów produktów żywnościowych w zakresie generowanych strat i marnowanej żywności.

### 5.3. Fizyczna i ekonomiczna dostępność żywności a jej dystrybucja – problem głodu i otyłości

Według opublikowanego w kwietniu 2019 r. raportu Globalnej Sieci na rzecz Przeciwdziałania Kryzysom Żywnościowym (GNFC) 113 mln ludzi i 53 kraje cierpiały w 2018 r. z powodu skrajnego głodu. Ponad 2/3 z ogólnej liczby głodnych pochodzi z 8 państw – Jemenu, Demokratycznej Republiki Konga, Afganistanu, Etiopii, Syrii, Sudanu, Sudanu Południowego i Nigerii (tabela 5.2). Źródeł tej sytuacji, czy też szerzej – braku żywności na świecie, upatruje się zarówno w czynnikach ekonomicznych (spekulacje na rynkach żywnościowych powodujące wzrost cen, kryzysy finansowe), jak i w zmianach klimatycznych (pustynnienie terenów rolniczych, przejmowanie terenów rolniczych pod produkcję biopaliw) oraz konfliktów wojennych. Choć raport zawiera wskazówki dotyczące tego, co należałoby zrobić – zakończyć konflikty (*sic!*), dać więcej władzy kobietom, poprawić infrastrukturę na terenach wiejskich,

wzmocnić pomoc społeczną – trudno mówić o jasno określonej strategii postępowania dotyczącej regionalnych problemów, czy też o skali globalnej. W ostatnim raporcie Światowej Organizacji Zdrowia „Stan bezpieczeństwa żywnościowego i wyżywienia 2019” (WHO 2019), traktującym o bezpieczeństwie żywnościowym, szacowano, że 9,2% światowej populacji (co stanowi nieco ponad 700 mln ludzi) było narażone na poważne niedobory żywności w 2018 r., co oznacza w praktyce znaczące zmniejszenie ilości spożywanej żywności, z czasowym doświadczeniem głodu. Rozszerzając definicję bezpieczeństwa żywnościowego z ilościowej na jakościową, należy uwzględnić dodatkowe 1,3 mld ludzi, którzy w 2018 r. nie mieli regularnego dostępu do pożywej i wystarczającej ilości pożywienia. Połączenie tych dwóch grup daje ok. 26% światowej populacji, która doświadczała braku bezpieczeństwa żywnościowego na różnych poziomach.

**Tabela 5.2.** Wskaźnik występowania niedożywienia w populacji światowej (brak bezpieczeństwa żywnościowego), lata 2005–2018, w %

Częstość występowania niedożywienia na świecie						
Region	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Świat	14,5	11,8	10,6	10,7	10,8	10,8
Afryka	21,2	19,1	18,3	19,2	19,8	19,9
Afryka Północna	6,2	5,0	6,9	7,0	7,0	7,1
Afryka Subsaharyjska	24,3	21,7	20,9	22,0	22,7	22,8
Afryka Wschodnia	34,3	31,2	29,9	31,0	30,8	30,8
Afryka Środkowa	32,4	27,8	24,7	25,9	26,4	26,5
Afryka Południowa	6,5	7,1	7,8	8,5	8,3	8,0
Afryka Zachodnia	12,3	10,4	11,4	12,4	14,4	14,7
Azja	17,4	13,6	11,7	11,5	11,4	11,3
Azja Środkowa	11,1	7,3	5,5	5,5	5,7	5,7
Azja Wschodnia	14,1	11,2	8,4	8,4	8,4	8,3
Azja Południowo-Wschodnia	18,5	12,7	9,8	9,6	9,4	9,2
Azja Południowa	21,5	17,2	15,7	15,1	14,8	14,7
Azja Zachodnia	9,4	8,6	11,2	11,6	12,2	12,4
<b>Wschodnia Azja i Północna Afryka</b>	8,0	7,1	9,2	9,5	9,8	9,9

Częstość występowania niedożywienia na świecie						
Region	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Ameryka Łacińska i Karaiby	9,1	6,8	6,2	6,3	6,5	6,5
Karaiby	23,3	19,8	18,3	18,0	18,0	18,4
Ameryka Łacińska	8,1	5,9	5,3	5,5	5,7	5,7
Ameryka Środkowa	8,4	7,2	6,3	6,1	6,1	6,1
Ameryka Południowa	7,9	5,3	4,9	5,3	5,5	5,5
Oceania	5,5	5,2	5,9	6,0	6,1	6,2
Ameryka Północna i Europa	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5

Źródło: WHO 2019, s. 8.

Po kilku dekadach permanentnego spadku wskaźnika głodu na świecie, mierzonego jako częstość występowania niedożywienia (procentowy udział osób niedożywionych w całej populacji), można obserwować odwrócenie się tego trendu. Od 2015 r. zauważalna jest stała jego globalna wartość na poziomie 11%. Patrząc przez pryzmat celu milenijnego ONZ „Zero Hunger 2030”, trzeba stwierdzić, że jest to ogromne wyzwanie. Według raportu głód rośnie niemal w całej Afryce (poza północą oraz RPA), sprawiając, że ten kontynent jest regionem o najbardziej rozpowszechnionym niedożywieniu (niemal 1/5 całej afrykańskiej populacji w 2018 r.).

Globalna liczba ludności na świecie nieustannie rośnie, i mimo że spada tempo tego wzrostu, proces ten jest powodem do niepokoju – z jednej strony chodzi o możliwości wyżywienia rosnącej populacji, a z drugiej – o powiększającą się antropopresję wynikającą z działalności przemysłowej czy produkcji żywności. Skłaniać to może do katastroficznej wizji demograficznej – wzrost populacji na świecie stwarza zagrożenie na płaszczyźnie dostępności żywności, efektów zewnętrznych powodowanych przez działalność człowieka, w tym zwiększania emisji gazów cieplarnianych czy wyczerpywania się zasobów naturalnych. W kontekście badanego problemu głodu i niedożywienia na szczególną uwagę zasługuje fakt, że pod względem liczebności będzie następował dalszy spadek wielkości populacji krajów zaliczanych do krajów wysoko rozwiniętych. Ich udział w ogólnej liczbie ludności na świecie, wynoszący ok. 17,5% w 2013 r., w prognozowanych latach 2050 i 2100 wyniesie odpowiednio 13,6% i 11,8% (Krywult-Albańska 2014, s. 159).

Dostępność do żywności nadającej się do spożycia przez ludzi (włączając pasze dla zwierząt, odpadki oraz zastosowania dla celów niespożywczych)

zwiększyła się w latach 2006/2007 średnio do 2772 kcal na osobę dziennie (gdzie dla porównania w latach 1990/1992 wynosiła ona 2627 kcal). W ujęciu czysto teoretycznym (patrząc przez pryzmat statystyki) nie istnieją zatem żadne przeszkody, aby wyżywić cały świat na wystarczającym poziomie. Rzeczywistość jest jednak inna – ponad 2 mld ludzi żyje w krajach, gdzie na osobę przypada mniej niż 2500 kcal/dzień, a ok. 0,5 mld w miejscach, gdzie dzienna dawka kalorii nie przekracza 2000 kcal. Z drugiej strony codzienne zapotrzebowanie na kalorie jest zaspokajane ze sporą nadwyżką – 3000 kcal przez blisko 2 mld ludzi (Alexandratos i Bruinsma 2012, s. 23).

Traktując uwarunkowania środowiskowe i demograficzne jako bazowe przyczyny pojawiania się głodu i nieodżywienia na świecie, nie można zapomnieć o społecznych przesłankach tych zjawisk, będących wynikiem nierówności dochodowych i neokolonializmu gospodarczego (wykorzystywaniem biedniejszych krajów Południa przez rozwiniętą Północ). Z tego punktu widzenia przyczyną głodu na świecie jest (Ziegler 2013, s. 7):

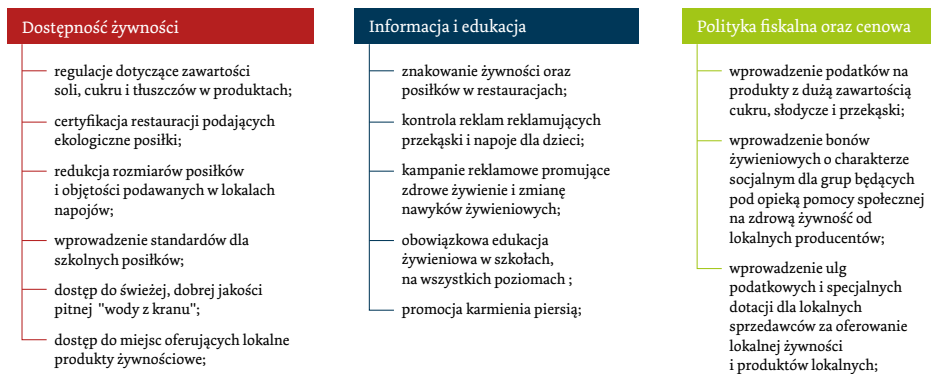
- 1) funkcjonowanie międzynarodowych koncernów żywnościowych i ich polityka cenowa,
- 2) *land grabbing* – przejmowanie ziemi uprawnej w krajach Południa, szczególnie przez koncerny biopaliwowe,
- 3) spekulacje cenowe na giełdach doprowadzające do drastycznych wahań cen na rynkach podstawowych produktów spożywczych.

Co warte odnotowania, nierównomierne tempo ożywienia gospodarczego i utrzymujące się słabe wyniki gospodarcze w wielu krajach, będące wynikiem kryzysu światowego z lat 2008–2009, mają znaczny wpływ na walkę z niedożywieniem i głodem. Zjawiska ekonomiczne, takie jak: kryzysy na rynkach finansowych, wojny handlowe, embarga gospodarcze, przyczyniają się do zwiększenia niepewności światowych perspektyw gospodarczych. Bezpieczeństwo żywnościowe (a co za tym idzie – głód i niedożywienie) znacznie pogorszyło się w krajach, w których gospodarka spowolniła lub skurczyła się – chodzi tutaj o kraje o średnich dochodach. Co więcej, wstrząsy gospodarcze wywołane przez gospodarkę światową przyczyniają się do przedłużania się kryzysów żywnościowych spowodowanych konfliktami politycznymi czy zmianami klimatycznymi. Te zmiany są dotkliwsze w krajach, gdzie nierówności ekonomiczne lub społeczne są większe. Nierówność dochodów zwiększa prawdopodobieństwo utraty bezpieczeństwa żywnościowego, a efekt ten jest większy o 20% w krajach o niskich dochodach w porównaniu z krajami średnio rozwiniętymi. Nierówności dochodowe i majątkowe są związane z niedożywieniem, podczas gdy bardziej złożone są prawidłowości dotyczące występowania otyłości.

Należy pamiętać, że zjawisko braku bezpieczeństwa żywnościowego i niedożywienia we wszystkich jego postaciach stanowią poważne wyzwanie dla osiągnięcia zrównoważonego rozwoju w skali globalnej. W tym kontekście równie ważnym problemem jest gwałtowny światowy wzrost otyłości – żaden region ani grupa dochodowa nie jest wolna od tego problemu. Ogólna liczba osób otyłych przekroczyła liczbę niedożywionych już w 2016 r. Ci, którzy doświadczają braku żywności w wieku dziecięcym, są narażeni w późniejszym czasie na ryzyko nadwagi i otyłości, a niezdrowa dieta jest obecnie głównym czynnikiem powodującym zgony na świecie. Stąd też potrzeba szerokiego spojrzenia na bezpieczeństwo żywnościowe i zapewnianie dostępu nie tylko do wystarczającej ilości żywności, ale także do odpowiedniej jej jakości, co stanowi podstawę stworzenia zdrowej diety.

Istnieje wiele sposobów zapobiegania nadwadze i otyłości w społeczeństwach i walki z tymi stanami – zarówno o charakterze politycznym, instytucjonalnym, jak i edukacyjnym (WHO 2019, s. 39) – rysunek 5.13.

**Rysunek 5.13.** Przykłady różnych rozwiązań stosowanych w celu przeciwdziałania nadwadze i otyłości



Źródło: WHO 2019, s. 39.

### Dieta planetarna – zdrowa odpowiedź dla chorego świata

Raport czasopisma medycznego „Lancet” i Fundacji EAT dostarcza naukowych podstaw do stworzenia światowego systemu żywnościowego – z jednej strony pozwalającego na zaspokojenie potrzeb osób głodujących i niedożywionych, a z drugiej strony będącego odpowiedzią na choroby cywilizacyjne sytej, bogatej Północy, łącząc to ze zrównoważeniem produkcji (w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym).

Zmiana diety powinna dotyczyć wielu społeczeństw na świecie. Amerykanie będą musieli spożywać 84% mniej czerwonego mięsa niż obecnie, podobnie jak Europejczycy. Jednocześnie w obu przypadkach zwielokrotnieniu będzie musiało ulec spożycie produktów roślinnych. Aby zrównoważyć potrzeby związane ze zdrowiem ludzi z tymi dotyczącymi środowiska naturalnego, zalecana dieta zakłada podwojenie całkowitego średniego spożycia orzechów, owoców i warzyw oraz ograniczenie spożycia czerwonego mięsa i cukru o połowę. Opierająca się w dużej mierze na produktach roślinnych dieta opracowana przez Komisję EAT-Lancet do spraw Żywności, Planety i Zdrowia (w skład której wchodziło 37 ekspertów z zakresu zdrowia, żywienia, środowiska, systemów żywnościowych, ekonomii i zarządzania politycznego z 16 krajów) dostarczałaby 2500 kcal dziennie.

Przykładowe dzienne menu:

- Orzechy – 50 g
- Fasola, ciecierzycza, soczewica i inne rośliny strączkowe – 75 g
- Ryba – 28 g
- Jajka – 13 g dziennie (co daje jedno na tydzień)
- Mięso – 14 g czerwonego mięsa i 29 g kurczaka
- Węglowodany – pełnoziarnisty chleb i ryż – 232 g dziennie i 50 g dziennie skrobiowych warzyw
- Nabiał – 250 g – odpowiednik jednej szklanki mleka
- Warzywa – (300 g) i owoce (200 g)
- Cukier – nie więcej niż 31 g
- Tłuszcze roślinne – 50 g olejów takich jak oliwa z oliwek

Ograniczenie spożycia czerwonego mięsa, w tym przede wszystkim wołowiny – to jeden z głównych postulatów planetarnej diety zdrowotnej. Założenia proponowanych zmian bliskie są tzw. diecie fleksytariańskiej, która nie wyklucza jedzenia białka zwierzęcego, ale opiera się głównie na warzywach, w tym strączkowych, oraz orzechach, pełnych ziarnach i owocach.

Źródło: <https://www.rp.pl/Zdrowie-/190119332-Zdrowa-dieta-dla-Ziemi-Mniej-czerwonego-miesia-wiecej-warzyw.html>;  
<https://www.theguardian.com/environment/2019/jan/16/new-plant-focused-diet-would-transform-planets-future-say-scientists> (dostęp: 6.06.2019).

Warto zaznaczyć, że sam wzrost gospodarczy nie wystarcza, aby ograniczyć skrajne ubóstwo, a co za tym idzie – poprawić bezpieczeństwo żywnościowe i żywieniowe. W większości przypadków tempo, w jakim skrajne ubóstwo (a zatem sytuacja, w której człowiek musi przeżyć za mniej niż 1,9 USD dziennie) kurczy się wraz z przyspieszeniem wzrostu gospodarczego, różni się w zależności od kraju, co jest zdeterminowane przez początkowy poziom nierówności dochodów oraz dynamikę zmian. Te nierówności, które nie polegają tylko na poziomie dochodów, ale są też efektem różnic w dostępie do infrastruktury edukacyjnej czy służby zdrowia, są przyczyną braku znaczącego spadku skrajnego ubóstwa, braku bezpieczeństwa żywnościowego oraz niedożywienia. Sama nierówność w dochodach może prowadzić nie



tylko do niedożywienia, ale także do nadwagi i otyłości, ponieważ wyższe ceny zdrowej, dobrej jakości żywności skłaniają biednych do zakupu tanich wysokoenergetycznych, a jednocześnie ubogich w składniki odżywcze produktów żywnościowych.

#### Niedożyczenie a lokalna gospodarka

W krajach rozwijających się w okresach trudności ekonomicznych dzieci są szczególnie narażone na ryzyko sytuacji, że rodzice zabiorą je ze szkoły, aby zaczęły pracować na rzecz rodziny. Zwiększa to prawdopodobieństwo braku dostępu do zdrowych i zbilansowanych posiłków, gdyż programy dokarmiania dzieci w szkołach, stanowiące jedno z wielu możliwych narzędzi opieki socjalnej, mogą przyczynić się do rozwoju lokalnych społeczności.

Ponad połowa dzieci w wieku szkolnym w krajach o niskich i średnich dochodach (tę liczbę szacuje się na ok. 300 mln) jada posiłki w szkole. To sprawia, że dzieci nie są już tak narażone na niedożyczenie czy głód, ale też łączy programy dożywiania z lokalnymi producentami żywności. Powiązanie lokalnej konsumpcji z lokalną produkcją pomaga stworzyć stabilny i przewidywalny rynek dla lokalnych rolników, zwłaszcza drobnych właścicieli gospodarstw, w tym wielu kobiet i matek (na przykład w Brazylii 30% wszystkich zakupów pochodzi od lokalnych dostawców, właścicieli drobnych gospodarstw rolnych). Tego typu programy są akceleratorami lokalnego rozwoju, wzmacniają systemy żywnościowe i mogą przyczynić się do wyprowadzenia ludzi z ubóstwa (Bundy i in. 2018, s. 17–22).

Nie wartościując zjawisk związanych z głodem i niedożyczeniem, należy stwierdzić, że współcześnie istnieją współmiernie dwa zjawiska – głód w pojęciu *sensu stricto* – ten związany jest z klęskami suszy czy też przedłużającymi się konfliktami o charakterze zbrojnym (dotyczy on ok. 800 mln ludzi na świecie); natomiast do większej części świata (i to zarówno Północy, jak i Południa) odnosi się problem niedożyczenia i głodu ukrytego. Należy zaznaczyć, że głód oznacza nie tylko brak pożywienia, ale również niedobór czy też brak podstawowych składników niezbędnych do utrzymania zdrowia. Głód ukryty to niedobór witamin i minerałów. Nie jest on powodem wyraźnych objawów lub uciążliwości, jednak jego długotrwałe utrzymywanie się może prowadzić do poważnych chorób, niepełnosprawności i śmierci. Osoba, która cierpi głód tego rodzaju nie ma problemu z ilością przyjmowanego jedzenia, lecz raczej z jego niską jakością i niewielką różnorodnością. Oparcie codziennej diety na podstawowych dostępnych produktach – mące, ziemniakach czy ryżu – dostarcza organizmowi znikomej ilości potrzebnych mikroelementów, tj. jodu, żelaza, cynku, witaminy A, co prowadzi do znaczącego pogorszenia się zdrowia. Szacuje się, że głód ukryty dotyczy ok. 2 mld ludzi na całym świecie (PAH 2013).

Wokół problemu głodu skoncentrowany jest również raport *Zmiany klimatu i ubóstwo*<sup>16</sup>, gdzie główny akcent pada na zmiany klimatu, prawa człowieka osób żyjących w ubóstwie lub będących nim zagrożonych. W alarmistycznym tonie stwierdzono, że zmiany klimatyczne zagrażają bezpośrednio produkcji żywności. Według Banku Światowego (2010) przy ociepleniu o 2°C w skali globalnej aż 400 mln ludzi więcej niż obecnie może być zagrożonych głodem, a do 2080 r. zmiany klimatu mogą doprowadzić do utraty plonów o 30%. Między rokiem 2030 a 2050 może spowodować to w przybliżeniu 250 tys. dodatkowych zgonów rocznie z powodu niedożywienia, malarii, biegunki i stresu cieplnego (WHO 2014). Zmiana klimatu grozi cofnięciem postępu cywilizacyjnego w walce z ubóstwem i niedożywieniem. Paradoksalnie kraje rozwinięte, które są odpowiedzialne za ogromną większość emisji gazów cieplarnianych, będą najlepiej przystosowane do walki z nimi, podczas gdy kraje najbardziej zagrożone, które w najmniejszym stopniu przyczyniły się do zmian klimatycznych, będą najbardziej poszkodowane. Połowa ludności świata (3,5 mld ludzi) odpowiada za zaledwie 10% emisji węgla, podczas gdy najbogatszych 10% ludności – za ponad połowę tej emisji. Patrząc przez pryzmat respektowania praw człowieka, należy stwierdzić, że zmiany klimatyczne to bezprawny atak na biednych.

Istotnym powiązaniem rynku żywności, jej cen oraz aktualnej sytuacji na nim z ogólną sytuacją ekonomiczną jest korelacja pomiędzy ceną ropy naftowej a ceną żywności. Wynika ona z tego, że ropa naftowa jest głównym paliwem globalnej gospodarki i wpływa na cenę każdego towaru. W kosztach wytwarzania żywności zawierają się znaczące koszty produkcji, spedycji, przechowywania i dystrybucji. Należy również odnotować, że każdy wzrost cen ropy podnosi znaczenie ekonomiczne biopaliw (Caparros 2016, s. 335).

Problem niedostatecznej produkcji żywności, a w konsekwencji niedoboru żywności, w tym spowodowanej wzrostem cen, może wynikać w konkretnych krajach z sytuacji na międzynarodowym rynku produktów rolniczych. Dotowanie produkcji kukurydzy na rynku amerykańskim sprawiło, że wiele krajów Ameryki Południowej i Środkowej zostało zalanych taną produkcją ze Stanów Zjednoczonych. Ponad dwie dekady temu Gwatemala produkowała niemal całą konsumowaną przez swoją ludność kukurydzę. Pod koniec lat 90. XX w. na rynek gwatemalski zaczęła napływać kukurydza amerykańska oferowana, dzięki subsydiom krajowym, po dumpingowych cenach, co spowodowało brak opłacalności produkcji tego zboża przez lokalnych rolników i znaczące zmniejszenie areału upraw. W tym samym czasie wielu rolników sprzedawało ziemię uprawną koncernom amerykańskim pod uprawę palmy (z której otrzymywano

<sup>16</sup> <https://www.ohchr.org/en/issues/poverty/Pages/SRExtremePovertyIndex.aspx> (dostęp: 15.06.2019).

olej i etanol) oraz trzciny (cukier i etanol). Amerykanie zaczęli wykorzystywać swoją kukurydzę do produkcji etanolu, tym samym podnosząc ceny jeszcze bardziej (Caparros 2016).

### Suwerenność żywnościowa – walka z korporacyjnymi wiatrakami?

Próba odpowiedzi na ekonomiczne przyczyny problemu głodu i niedożywienia setek milionów ludzi w krajach Południa jest ciesząca się coraz większym zainteresowaniem i poparciem na świecie, ale wciąż mało znana w Polsce, koncepcja suwerenności żywnościowej (*food sovereignty*). Idea ta została zaproponowana w latach 90. XX w. przez międzynarodowy ruch rolników Via Campesina jako alternatywa dla dominujących globalnie neoliberalnych rozwiązań w zakresie rolnictwa, produkcji żywności i międzynarodowego handlu produktami rolnymi, które okazały się nieskuteczne w walce z głodem. Od tego czasu zyskuje ona poparcie stale rosnącej liczby organizacji pozarządowych i ruchów społecznych na całym świecie, które systematycznie rozwijają jej założenia oraz promują je poprzez wielorakie konferencje, fora, deklaracje i apele skierowane do międzynarodowych organizacji oraz rządów poszczególnych państw.

Suwerenność żywnościowa jest najczęściej rozumiana jako prawo ludności i poszczególnych krajów do samodzielnego definiowania własnej polityki rolnej i żywnościowej, która umożliwi zaspokojenie potrzeb i oczekiwań ludności oraz osiągnięcie celów zrównoważonego rozwoju, a jednocześnie nie szkodzi krajom trzecim. Oprócz reorganizacji produkcji żywności oraz handlu produktami rolnymi, suwerenność żywnościowa wskazuje także na konieczność podjęcia odpowiednich działań w takich kluczowych dla walki z głodem zagadnieniach, jak m.in. reforma agrarna (ze szczególnym uwzględnieniem bezrolnych oraz kobiet) oraz ochrona i zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych.

Za podstawową zasadę suwerenności żywnościowej można uznać nieodzowność demokratycznego udziału w kształtowaniu polityki rolnej i żywnościowej wszystkich, na których ma ona wpływ, ze szczególnym uwzględnieniem biednych mieszkańców terenów wiejskich w krajach Globalnego Południa, kobiet, rolników matorolnych i bezrolnych, czyli tych, którzy są najbardziej narażeni na głód i niedożywienie.

Suwerenność żywnościowa jest swoistym wezwaniem do demokratycznej debaty i działań obejmujących globalny system produkcji i dostępu do żywności.

Źródło: [https://www.ekonsument.pl/a680\\_suwerennosc\\_zywnosciowa.html](https://www.ekonsument.pl/a680_suwerennosc_zywnosciowa.html) (dostęp: 25.06.2019).

Raport przygotowany przez Światowy Instytut Zasobów (World Resources Institute 2019) prezentuje obszerną odpowiedź na pytanie, jak świat może do 2050 r. nakarmić niemal 10 mld ludzi w sposób, który pomoże zwalczyć ubóstwo, pozwoli światu osiągnąć cele klimatyczne oraz zmniejszy antropopresję na środowisko. Aby w przyszłości osiągnąć zrównoważoną żywność, należy uwzględnić wiele konkurencyjnych potrzeb. Do 2050 r. należy zmierzyć się z wciąż powiększającą się populacją, sprawić, by rolnictwo przyczyniło się do zmniejszenia ubóstwa poprzez zintegrowany rozwój społeczno-gospodarczy,

przy jednoczesnym minimalizowaniu start środowiskowych, takich jak: emisja gazów cieplarnianych czy wyczerpywanie się zasobów wód słodkich.

Aby zrealizować te cele, w raporcie proponuje się (World Resources Institute 2019):

- 1) zmniejszenie wzrostu popytu na żywność i inne produkty rolne poprzez ograniczenie marnowania żywności (jak najmniejsze straty „między gospodarstwem a widelcem”), dbanie o bardziej zróżnicowaną i zrównoważoną dietę (rezygnacja z mięsa przeżuwczy na rzecz roślin strączkowych i nabiału), co jest kluczowe również ze względu na redukcję emisji gazów cieplarnianych; rozsądne gospodarowanie gruntami rolnymi przeznaczonymi do produkcji roślin dla bioenergetyki; ograniczenie dzietności poprzez promocję edukacji szkolnej dla dziewcząt, dostęp do usług zdrowotnych zmniejszających śmiertelność matek oraz niemowląt i dzieci;
- 2) zwiększenie produktywności gruntów rolnych oraz pastwisk, szczególnie w krajach rozwijających się, gdzie zapotrzebowanie na żywność rośnie najszybciej, oraz poprawa gospodarowania glebą i wodą, co może być częścią rewitalizacji zdegradowanych gleb w skali światowej (tzw. rolnictwo ochronne); konieczność regionalnych dostosowań do warunków uprawy spowodowanych przez zmiany klimatyczne (odporne na warunki klimatyczne odmiany roślin, lokalne systemy nawadniania);
- 3) ochronę i przywracanie naturalnych ekosystemów, które pełnią cenne funkcje środowiskowe, tak aby nieuchronna ekspansja gruntów rolnych nie powodowała niepotrzebnych strat środowiskowych; powinno to być powiązane z naturalną konwersją ekosystemów;
- 4) zwiększenie zaopatrzenia w ryby i skorupiaki, które są szczególnie ważne w diecie ponad 3 mld ludzi, szczególnie w krajach rozwijających się, co wiąże się z poprawą wydajności i efektywności środowiskowej akwakultury;
- 5) zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych z produkcji rolnej, co może być wynikiem zwiększenia efektywności gospodarowania na obszarach wiejskich lub może wynikać z uwzględnienia obiecującego potencjału innowacji technologicznych wpływających na zmniejszenie fermentacji jelitowej zwierząt hodowlanych (szczepionki dojelitowe), ulepszenie zarządzania obornikiem, w tym pozostawionym na pastwisku, czy poprzez odpowiednie zarządzanie uprawą ryżu i stosowanie właściwych odmian o niskiej emisji metanu.

Na problem głodu i niedożywienia można spojrzeć pod kątem działania czynników o różnym charakterze – ekonomicznym, środowiskowym, demograficznym czy społeczno-politycznym. Zróżnicowanie w dostępie do żywności może być odbiciem nierówności społecznych, tak w ujęciu globalnym (Północ

– Południe), jak i mających charakter krajowy czy regionalny. Głód jako zjawisko historycznie powiązane z niskim poziomem zbiorów obecnie kształtowany jest przez czynniki ekonomiczne, tj. niskie dochody czy niską produktywność rolnictwa w krajach rozwijających się. Głód dotyczy zarówno ludności posiadającej ziemię, niebędącej jednak w stanie wyprodukować na niej dostatecznej ilości żywności, jak również biednych mieszkańców miast, których na pożywienie nie stać (Babiak 2011, s. 9).

Pomimo istnienia nadwyżek żywności w światowej skali, w wielu regionach mamy do czynienia ze zjawiskami głodu i niedożywienia. Nie brak żywności (w sensie fizycznym), lecz nierównomierny rozkład produkcji i niesprawiedliwy jej podział jawi się jako najważniejsza współcześnie przyczyna głodu. Paradoksem naszych czasów jest to, że głód występuje w warunkach obfitości – w niektórych krajach brakuje żywności, podczas gdy w innych niszczone są jej nadwyżki. Osiągnięcie bezpieczeństwa żywnościowego globalnie będzie realne dopiero po uporaniu się z regionalnymi nierównościami ekonomicznymi i społecznymi. Akceleratorem zmian na rynkach żywnościowych może okazać się sytuacja międzynarodowa (jak stało się to na skutek kryzysu ekonomicznego z lat 2008/2009), dodatkowo wzmagająca negatywne zjawiska w krajach, które borykają się z problemami głodu i niedożywienia – spadek poziomu światowego handlu w sferze eksportu żywności, spadek poziomu zagranicznych inwestycji czy wzrost bezrobocia – co może skutkować negatywnym wpływem na rozwiązywanie problemów żywnościowych świata.

## Literatura

- Alexandratos N., Bruinsma J. (2012), *World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision*, ESA working paper No 12-03, FAO, Roma.
- Babiak J. (2011), *Możliwości produkcyjne rolnictwa a sytuacja żywnościowa świata*, „Polityki Europejskie, Finanse i Marketing”, vol. 5(54).
- Bank Światowy (2010), *World Development Report 2010: Rozwój i zmiany klimatu*, <https://openknowledge.wolrdbank.org/handle/10986/4387> (dostęp: 18.05.2019).
- Banki Żywności* (2018), <https://bankizywnosci.pl/o-bankach-zywnosci/informacje-ogolne> (dostęp: 25.04.2019).
- Banki Żywności. Ekomisja* (2018), <https://bankizywnosci.pl/ekomisja> (dostęp: 25.05.2019).
- Banki Żywności. Prom* (2018), <https://bankizywnosci.pl/prom> (dostęp: 25.05.2019).
- BCFN (2012), *Food Waste: Causes, Impacts and Proposals*, Parma.
- Bernard B., Lux A. (2017), *How to Feed the World Sustainably: An Overview of the Discourse on Agroecology and Sustainable Intensification*, „Regional Environmental Change”, vol. 17(5).

- Bernstad A., Andersson T. (2015), *Food Waste Minimization from a Life – Cycle Perspective*, „Journal of Environmental Management”, vol. 147.
- Bilska B., Kołożyn-Krajewska D. (2018), *Straty w przetwórstwie spożywczym*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 1(72).
- Brussaard L., Caron P., Campbell B., Lipper L., Mainka S., Rabbinge R., Didier D., Pulleman M.M. (2010), *Reconciling Biodiversity Conservation and Food Security: Scientific Challenges for a New Agriculture*, „Current Opinion in Environmental Sustainability”, vol. 2.
- Buchner B., Fischler C., Gustafson E., Reilly J., Riccardi G., Ricordi C., Veronesi U. (2012), *Food Waste: Causes, Impacts and Proposals*, Barilla Center for Food and Nutrition.
- Bundy D.A.P., de Silva N., Horton S., Janison D.T., Patton G.C. (2018), *Re-imagining School Feeding: A High-return Investment in Human Capital and Local Economies*, „Child and Adolescent Health and Development”, vol. 8, World Bank, Washington, DC.
- Burlingame B. (2014), *Grand Challenges in Nutrition and Environmental Sustainability*, „Frontiers in Nutrition”, vol. 1(3).
- Burlingame B., Dernini S. (2012), *Sustainable Diets and Biodiversity: Directions and Solutions for Policy, Research and Action*, International Scientific Symposium, Biodiversity and Sustainable Diets United Against Hunger, FAO Headquarters, Rome, Italy, 3–5 November 2010, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Caparros M. (2016), *Glód*, Wydawnictwo Literackie, Warszawa.
- Dziliński B. (2012), *Jak uniknąć marnotrawstwa żywności? Koncepcja Parlamentu Europejskiego*, „Infos. Zagadnienia Społeczno-gospodarcze”, vol. 7(121).
- European Commission (2011), *Preparatory Study on Food Waste across EU-27. Final Report*, Paris.
- FAO (2011b), *Save and Grow: A Policymaker’s Guide to the Sustainable Intensification of Smallholder Crop Production*, Rome, Italy.
- FAO (2013), *Food Wastage Footprint. Impacts on Natural Resources*, Summary Report, Rome.
- FAO (2014a), *Definitional Framework of Food Loss*, Rome.
- FAO (2014b), *Food Wastage Footprint: Full-Cost Accounting*, Final Report, Rome.
- FAO (2014c), *The State of Food Insecurity in the World 2014*, Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO (2015), *Food Wastage Footprint and Climate Change*, Rome.
- FAO (2017a), *Save Food: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction, Key Findings*, <http://www.fao.org/save-food/resources/keyfindings/en> (dostęp: 22.03.2019).
- FAO (2017b), *Sustainable Agriculture for Biodiversity – Biodiversity for Sustainable Agriculture*, Rome.
- FAO (2018a), *The 10 Elements of Agroecology Guiding the Transition to Sustainable Food and Agricultural Systems*, Rome, FAO; <http://www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements/en> (dostęp: 22.03.2019).

- FAO (2018b), *World Food and Agriculture – Statistical Pocketbook 2018*, Rome.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP i WHO (2017), *The State of Food Security and Nutrition in the World 2017. Building Resilience for Peace and Food Security*, Rome.
- Fischer J., Abson D.J., Bergsten A., French Collier N., Dorresteijn I., Hanspach J., Hylander K., Schultner J., Senbeta F. (2017), *Reframing the Food-Biodiversity Challenge*, „Trends in Ecology and Evolution”, vol. 32(5).
- Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O’Connell C., Ray D.K., West P.C., Balzer C., Bennett E.M., Carpenter S.R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockstrom J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks D.P.M. (2011), *Solutions for a Cultivated Planet*, „Nature”, vol. 478.
- Food Statistics Pocketbook* (2012), DEFRA. <http://www.defra.gov.uk/statistics/files/defra-stats-foodfarm-food-pocketbook-2012-130104.pdf> (dostęp: 6.04.2016).
- Garnett T. (2011), *Where Are the Best Opportunities for Reducing Greenhouse Gas Emissions in the Food System (Including the Food Chain)?*, „Food Policy”, vol. 36.
- Garnett T., Godfray H.C.J (2012), *Sustainable Intensification in Agriculture: Navigating a Course through Competing Food System Priorities*, Food Climate Research Network and the Oxford Martin Programme on the Future of Food, University of Oxford, Oxford, UK.
- Glamann J., Hanspach J., Abson D.J., Collier N., Fischer J. (2017), *The Intersection of Food Security and Biodiversity Conservation: A Review*, „Regional Environmental Change”, vol. 17(5).
- Godfray H.C., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Nisbett N., Pretty J., Robinson S., Toulmin C., Whiteley R. (2010), *The Future of the Global Food System*, „Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences”, vol. 365(1554).
- Green R.E., Cornell S.J., Scharlemann J.P., Balmford A. (2005), *Farming and the Fate of Wild Nature*, „Science”, vol. 307.
- Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U. (2011), *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention*, Rome.
- HLPE (2014), *Food Losses and Waste in the Context of Sustainable Food Systems*, A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome.
- <https://www.ohchr.org/en/issues/poverty/Pages/SRExtremePovertyIndex.aspx> (dostęp: 30.06.2019).
- Hubert B., Rosegrant M., van Boekel M.A.J.S., Ortiz R. (2010), *The Future of Food: Scenarios for 2050*, „Crop Science”, vol. 50 (suppl. 1).
- IPBES Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2018), *The IPBES Regional Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Europe and Central Asia*, red. M. Rounsevell, M. Fischer, A. Torre-Marin Rando, A. Mader, Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.
- IPBES (2019), *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem*

- Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneeth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- Kołożyn-Krajewska D. (2016), *Jak uniknąć marnotrawienia żywności – strategie poprawy wydajności łańcucha dystrybucji w UE w zakresie przekazywania darowizn żywności na cele charytatywne*, „Opinie i Ekspertyzy”, Kancelaria Senatu, Biuro Analiz i Dokumentacji, kwiecień.
- Kołożyn-Krajewska D., Wrzosek M., Bilśka B., Krajewski K. (2014), *Ryzyko powstawania strat i marnotrawstwa żywności a możliwość ich ograniczania. Technologia produkcji i bezpieczeństwo żywności*, PTTŻ, Kraków.
- Konwencja o różnorodności biologicznej, sporządzona w Rio de Janeiro dnia 5 czerwca 1992 r., Dz.U. 2002 nr 184 poz. 1532.
- Kopeć M., Gondek K., Mierzwa-Hersztel M. (2018), *Gospodarka o obiegu zamkniętym w kontekście strat i marnowania żywności*, „Polish Journal for Sustainable Development”, vol. 22(2).
- Krajewski K., Kołożyn-Krajewska D., Wrzosek M. (2014), *Ocena strat i marnotrawstwa żywności w obiektach handlowych a działania strategiczne handlu – wyniki badań. Etnocentryzm konsumencki na rynku produktów żywnościowych. Stan i perspektywy rozwoju*, „Marketing i Rynek”, vol. 6.
- Kremen C., Miles A. (2012), *Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-offs*, „Ecology and Society”, vol. 17(4).
- Krywult-Albańska M. (2014), *Wzrost demograficzny a perspektywy wyżywienia ludności świata. Zarys problemu*, „Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis, Studia Sociologica VI”, vol. 2.
- Kwasek M. (2017), *Marnotrawienie żywności w Unii Europejskiej*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 11(71).
- Lipinski B., Hanson C., Lomax J., Kitinoja L., Waite R., Searchinger T. (2013), *Reducing Food Loss and Waste*, World Resources Institute, Washington DC.
- Lipińska M., Wrzosek M., Bilśka B., Krajewski K., Kołożyn-Krajewska D. (2016), *Ograniczenie strat i marnotrawstwa żywności*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 11(70).
- Liu J., Hull V., Batistella M., DeFries R., Dietz T., Fu F., Hertel T.W., Izaurralde R.C., Lambin E.F., Li S., Martinelli L.A., McConnell W.J., Moran E.F., Naylor R., Ouyang Z., Polenske K.R., Reenberg A., de Miranda Rocha G., Simmons C.S., Verburg P.H., Vitousek P.M., Zhang F., Zhu C. (2013), *Framing Sustainability in a Telecoupled World*, „Ecology and Society”, vol. 18(2).
- Loos J., Abson D.J., Chappell M.J., Hanspach J., Mikulcak F., Tichit M., Fischer J. (2014), *Putting Meaning Back into Sustainable Intensification*, „Frontiers in Ecology and the Environment”, vol. 12.



- Mapa drogowa transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym* (2016), Ministerstwa Rozwoju. Zespół do spraw Gospodarki o Obiegu Zamkniętym, [www.mr.gov.pl/media/31893/MapaGOZ.pdf](http://www.mr.gov.pl/media/31893/MapaGOZ.pdf) (dostęp: 12.05.2019).
- Marnowanie żywności w Polsce i Europie* (2012), Raport Federacji Polskich Banków Żywności, Warszawa.
- Marnując żywność, marnujesz planetę* (2018), Raport Federacji Polskich Banków Żywności „Nie marnuję żywności”, <https://niemarnuje.bankizywnosci.pl> (dostęp: 12.04.2019).
- Moussset L. (2017), *Reconciling Agriculture and Biodiversity in European Public Policies: A Bio-economic Perspective*, „Regional Environmental Change”, vol. 17.
- Obedzińska A. (2017), *Wpływ strat i marnotrawstwa żywności na bezpieczeństwo żywnościowe*, „Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego”, vol. 17 (XXXII), z. 1.
- PAH (2013), „Prawo do żywności”, Aktywne szkoły na rzecz globalnej odpowiedzialności, [https://www.pah.org.pl/app/uploads/2017/06/2017\\_dlaszkol\\_kampania\\_swiat-bezglodu\\_publicacja\\_prawo\\_do\\_zywnosci.pdf](https://www.pah.org.pl/app/uploads/2017/06/2017_dlaszkol_kampania_swiat-bezglodu_publicacja_prawo_do_zywnosci.pdf) (dostęp: 30.06.2019).
- Parlament Europejski (2011), *Jak uniknąć marnotrawienia żywności: strategie na rzecz poprawy wydajności łańcucha żywnościowego w UE* (2011/2175), Komisja Rolnictwa i Rozwoju Wsi.
- Pingali P.L. (2012), *Green Revolution: Impacts, Limits, and the Path Ahead*, „Proc Natl Acad Sci USA”, vol. 109(31).
- Preparatory Study on Food Waste Across EU 27* (2010), Technical Report, [http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/bio\\_foodwaste\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/bio_foodwaste_report.pdf) (dostęp: 2.05.2019).
- Pretty J.N. (1997), *The Sustainable Intensification of Agriculture*, „Natural Resources Forum”, vol. 21.
- Projekt ustawy o przeciwdziałaniu marnowaniu żywności <https://www.senat.gov.pl/prace/senat/proces-legislacyjny-w-senacie/inicjatywy-ustawodawcze/inicjatywa,25.html> (dostęp: 24.04.2019).
- Reedy J., Krebs-Smith S.M. (2008), *A Comparison of Food-based Recommendations and Nutrient Values of Three Food Guides: USDA's MyPyramid, NHLB's Dietary Approaches to Stop Hypertension Eating Plan, and Harvard's Healthy Eating Pyramid*, „Journal of the American Dietetic Association”, vol. 108.
- Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 19 stycznia 2012 r. Jak uniknąć marnotrawienia żywności: strategie na rzecz poprawy wydajności łańcucha żywnościowego w UE (2012), <http://www.projektmost.pl> (dostęp: 6.04.2016).
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson A., Chapin F.S., Lambin E., Lenton T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H., Nykvist B., De Wit C.A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P.K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry V.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J. (2009), *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*, „Nature”, vol. 461.
- Rosińska-Jęczmienia D. (2017), *Szkoła niemarnowania jedzenia*, Banki Żywności, <http://www.zmianyzywniowe.pl/upload/pliki/konferencja-2017> (dostęp: 22.04.2019).

- Salter AM. (2018), *The Effects of Meat Consumption on Global Health*, „OIE Revue Scientifique et Technique”, vol. 37(1).
- Sekhon B.S. (2014), *Nanotechnology in Agri-food Production: An Overview*, „Nanotechnol Sci Appl”, vol. 7.
- Stępień S., Dobrowolski D. (2017), *Straty i marnotrawstwo w łańcuchu dostaw żywności – propedeutyka problemu*, „Progress in Economic Sciences”, vol. 4.
- Stoll-Kleemann S., Schmidt U.J. (2017), *Reducing Meat Consumption in Developed and Transition Countries to Counter Climate Change and Biodiversity Loss: A Review of Influence Factors*, „Regional Environmental Change”, vol. 17(5).
- Storkey J., Meyer S., Still K.S., Leuschner C. (2012), *The Impact of Agricultural Intensification and Land-use Change on the European Arable Flora*, „Proc Biol Sci.”, vol. 279(1732).
- Sylvester O., Segura A.G., Davidson-Hunt I.J. (2016), *The Protection of Forest Biodiversity Can Conflict with Food Access for Indigenous People*, „Conservation and Society”, vol. 14.
- Światowy Szczyt Żywności (1996), *World Food Summit 1996, Rome Declaration on World Food Security*.
- Van Meter K., Thompson S.E., Basu N.B. (2016), *Human Impacts on Stream Hydrology and Water Quality*, [w:] *Stream Ecosystems in a Changing Environment*, red. J.B. Jones, E.H. Stanley, Academic Press.
- WCED. World Commission on Environment and Development (1987), *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- WHO (2014), *Ilościowa ocena ryzyka wpływu zmian klimatu na wybrane przyczyny śmierci w 2030 i 2050*, [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/134014/9789241507691\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/134014/9789241507691_eng.pdf) (dostęp: 30.06.2019).
- WHO (2019), *The State of Food Security and Nutrition in the World 2019*, <https://www.unicef.org/reports/state-of-food-security-and-nutrition-2019> (dostęp: 30.06.2019).
- Wittman H., Chappell M.J., Abson D.J., Kerr R.B., Blesh I., Hanspach J., Perfecto I., Fischer J. (2017), *A Social-ecological Perspective on Harmonizing Food Security and Biodiversity Conservation*, „Regional Environmental Change”, vol. 17.
- World Resources Institute (2019), *Creating a Sustainable Food Future. A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 billion People by 2050*, July, <https://www.wri.org/publication/creating-sustainable-food-future> (dostęp: 30.06.2019).
- WRAP (2016), *Understanding Food Waste*, <http://www.wrap.org.uk> (dostęp: 6.06.2019).
- Wrzosek M., Bilaska B., Kołożyn-Krajewska D., Krajewski K. (2014), *Ograniczenie strat produktów mleczarskich w handlu detalicznym jako element społecznie odpowiedzialnego biznesu*, „Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu”, vol. 16, z. 6.
- Wrzosek M., Bilaska B., Kołożyn-Krajewska D., Krajewski K. (2017), *Zastosowanie analizy ryzyka do opracowania innowacyjnego systemu ograniczania strat i marnowania żywności w handlu detalicznym (system MOST)*, „Żywność. Nauka, Technologia, Jakość”, vol. 24, 2(111).
- Ziegler J. (2013), *Geopolityka głodu. Masowa zagłada*, Instytut Wydawniczy Książka i Prasa, Warszawa.

# BIOGOSPODARKA W ROLNICTWIE

## 6.1. Systemy produkcji rolnej w aspekcie rozwoju biogospodarki

Jednym z głównych celów biogospodarki, które wpisują się w ogólne unijne strategie zwiększenia wykorzystania zasobów odnawialnych, jest zrównoważona produkcja biomasy oraz przekształcanie jej zasobów w żywność, paszę, produkty biologiczne i bioenergię (*A Sustainable Bioeconomy...* 2018). W ramach tych działań ważnym aspektem jest również kooperacja sektorów gospodarki (rolniczego, przemysłowego i usług), jeżeli chodzi o obrót biomasą oraz tworzenie łańcuchów przetwarzania jej odpadów, produktów ubocznych i nadwyżek. W tym kontekście oczekuje się wytworzenia, w ramach już istniejących struktur gospodarki narodowej, systemu pełnego i optymalnego zagospodarowania całego dostępnego potencjału biomasy. W „Strategii biogospodarki dla Europy” z 2012 r. (COM(2012)60), jak również w jej uzupełnionej wersji z 2018 r. (COM(2018)673) wyznaczono 5 głównych celów dotyczących biogospodarki dla Europy: 1) zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego, 2) zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi, 3) zmniejszenie zależności od zasobów naturalnych, 4) mitygacja i adaptacja do zmian klimatu, 5) tworzenie nowych miejsc pracy i utrzymanie konkurencyjności UE. Kierując się zasadami biogospodarki, należy szczególną uwagę zwrócić na możliwości zagospodarowania tych odpadów i nadwyżek, które dotychczas – ze względów ekonomicznych czy organizacyjnych – były pomijane w wytwarzaniu bioproduktów. Dotyczy to zwłaszcza biopłynów pozyskiwanych z odpadów, które stanowią coraz bardziej istotny kierunek produkcji przemysłu chemicznego (ze szczególnym wskazaniem na przemysł farmaceutyczny). Za bezpośrednią produkcję biomasy odpowiadają dwa działy gospodarki: rolnictwo i leśnictwo. W przypadku rolnictwa głównym zadaniem jest zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego. Produkcja roślinna i zwierzęca może być prowadzona w różnych systemach gospodarowania. Definiowane są one jako sposób zagospodarowania rolniczej przestrzeni w zakresie produkcji roślinnej i zwierzęcej oraz ich przetwarzania, wyceniony według

kryteriów ekologicznych i ekonomicznych (Niewiadomski 1993). W literaturze wyróżnia się trzy główne systemy rolnicze (Kuś 1995, 2002): konwencjonalny, ekologiczny oraz integrowany. Każdy z tych systemów ma swoją specyfikę, a tym samym w różny sposób odpowiada na potrzeby włączenia zasad biogospodarki do produkcji rolnej.

**Konwencjonalny system gospodarowania**, inaczej zwany intensywnym lub uprzemysłowionym, nastawiony jest na maksymalizację zysków poprzez zwiększanie plonu roślin i intensyfikacji produkcji zwierzęcej. W gospodarstwach stosujących ten system wykorzystuje się technologie zużywające dużą ilość przemysłowych środków produkcji (nawozy mineralne, środki ochrony roślin) przy jednoczesnym niskim nakładzie pracy. System konwencjonalny został rozpowszechniony w krajach Europy Zachodniej w drugiej połowie XX w. Było to związane ze wzrostem demograficznym, a w związku z tym z gwałtownym wzrostem zapotrzebowania na żywność oraz rozwojem przemysłu, w tym ukierunkowanego na wytwarzanie środków produkcji dla rolnictwa. W gospodarstwach zaczęto wprowadzać specjalizację produkcji i uproszczoną organizację. Zaczęły pojawiać się gospodarstwa bezinwentarzowe (Kuś i Stalenga 2006, Krasowicz 2009). Wszystkie te działania miały przyczynić się do wzrostu dochodu z gospodarstwa. W systemie konwencjonalnym bardzo mały nacisk położony jest na środowisko. Wszystkie zabiegi nawożenia i ochrony roślin prowadzone są według kalendarza rozwoju rośliny (fazy fenologicznej) i nie jest to powiązane z faktycznym zapotrzebowaniem na nawożenie, czy też uzależnione od stopnia zagrożenia szkodnikami i chorobami roślin (Kuś i Stalenga 2006). Ten system gospodarowania powoduje więc negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze, między innymi poprzez zmniejszenie bioróżnorodności i dużą emisyjność substancji chemicznych. Dodatkowo intensywne i uproszczone rolnictwo prowadzi do dostarczania do gleby mało wartościowych resztek poźniwnych, co przyczynia się do spadku żyzności gleby w kolejnych latach (Krasowicz 2009).

Rozwój systemu konwencjonalnego doprowadził do nadprodukcji żywności w niektórych regionach świata oraz spadku zaufania konsumentów do jakości produktów, zarówno roślinnych, jak i zwierzęcych. Ekspansywny charakter systemu konwencjonalnego wywołał potrzebę jego odgórnej regulacji. W 2004 r. opracowany został na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz Ministerstwa Środowiska w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach – Kodeks dobrej praktyki rolniczej (Duer i in. 2004). Określone zostały tam zasady, jakie powinny być przestrzegane w produkcji roślinnej i zwierzęcej, aby była ona jak najbardziej przyjazna dla środowiska naturalnego. Obecnie najbardziej zagrażające środowisku i jakości produkowanej żywności praktyki są regulowane przez dyrektywy Komisji Europejskiej oraz dostosowaną do nich legislację krajów członkowskich. Przykładem może być dyrektywa azotanowa

Komisji Europejskiej, przyjęta w Polsce jako Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2018 r. dotyczące „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”. Dokument ten zarówno ogranicza ilość aplikowanych nawozów, jak i wymusza stosowanie dobrych praktyk ograniczających negatywne skutki środowiskowe nawożenia azotem, który w systemie konwencjonalnym jest postrzegany jako najskuteczniejszy środek plonotwórczy w produkcji roślinnej.

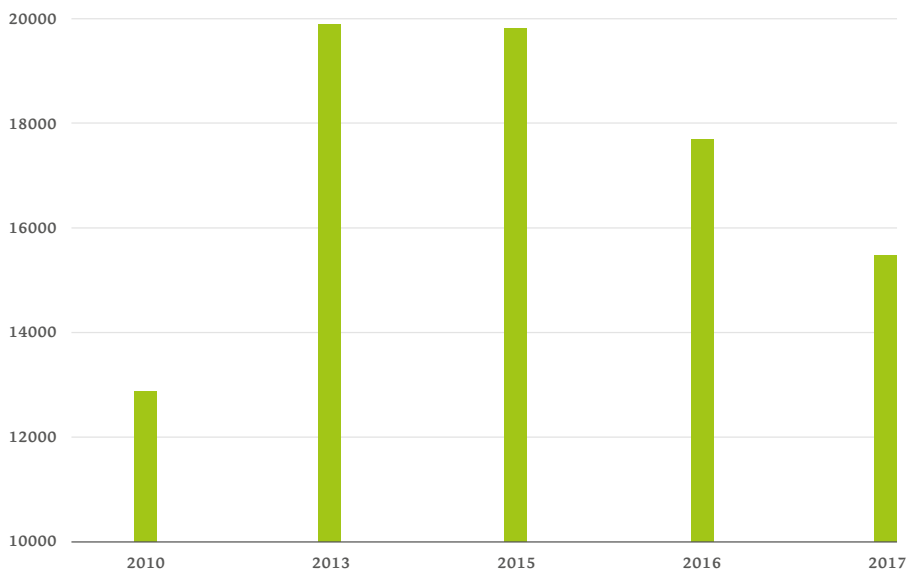
System konwencjonalny jest obecnie podstawową formą produkcji żywności w Polsce (Kuś i Stalenga 2006). Z tego względu również produkcja ta generuje największą ilość biomasy, która może być wykorzystana w celach pozarolniczych. Rodzajami tego surowca są plony uboczne (np. nadwyżki słomy i obornika, siano z późnego koszenia w gospodarstwach realizujących pakiety środowiskowo-klimatyczne) oraz odpady biodegradowalne (np. biomasa z pielęgnacji sadów, resztki z bezpośredniego przetwarzania plonów w gospodarstwie).

Jedną z alternatyw dla systemu konwencjonalnego może być **system ekologiczny**, inaczej zwany też organicznym lub biologicznym. Głównym celem rolnictwa ekologicznego jest uzyskanie wysokiej jakości produktów roślinnych i zwierzęcych, przy jednoczesnej dbałości o środowisko przyrodnicze (Kuś i Stalenga 2006). System ten wykorzystuje do produkcji środki pochodzenia biologicznego i mineralnego nieprzetworzone technologicznie. Aby gospodarstwo mogło zyskać status gospodarstwa ekologicznego, musi spełnić wymagania określone w ustawie o rolnictwie ekologicznym (Ustawa z dnia 25 czerwca 2009 r., ...), jak również poddawane jest corocznej kontroli, na podstawie której może uzyskać certyfikat poświadczający spełnienie kryteriów ekologicznej produkcji.

W Polsce, a także w Europie, w ostatnich latach wzrasta zainteresowanie rolnictwem ekologicznym, zarówno ze strony producentów, jak i konsumentów. Wielkość rynku produkcji ekologicznej szacuje się na ok. 400 mln zł, a sprzedaż produktów z produkcji ekologicznej będzie zwiększała się nawet o 15% rocznie (Jończyk 2014). W 1999 r. w Polsce było 513 gospodarstw ekologicznych, które prowadziły produkcję na ok. 6 tys. ha gruntów rolnych. Regulację zasad obowiązujących w tym systemie wprowadziła Ustawa z dnia 16 marca 2001 r. o rolnictwie ekologicznym (2001). Dzięki temu dalszy rozwój wdrażania zasad opartych na ekologii powiązany został z możliwością uzyskania wsparcia finansowego na produkcję towarów certyfikowanych. W 2005 r. tego typu gospodarstw było już ok. 7 tys. (Kuś i Stalenga 2006). Na rysunku 6.1 przedstawiono liczbę gospodarstw dysponujących certyfikatem gospodarstwa ekologicznego w kolejnych latach. Do 2015 r. liczba gospodarstw ekologicznych systematycznie rosła, osiągając poziom ponad 19 800

w latach 2013–2015. W kolejnych latach zanotowano jednak systematyczny spadek, do poziomu 15 470 w 2017 r. Wraz ze spadkiem liczby gospodarstw ekologicznych zmalała też powierzchnia, na której prowadzona była produkcja ekologiczna: z ponad 500 tys. ha w 2015 r. do nieco ponad 383 tys. ha w 2017 r. Zmniejszenie zainteresowania rolników tą formą produkcji było najprawdopodobniej związane z wciąż za niskim dofinansowaniem tego typu działalności w tym okresie oraz kondycją rynków rolnych. Od 2015 r. realizowany jest nowy „Program rozwoju obszarów wiejskich na lata 2014–2020”. W ramach tego programu zostało wyodrębnione osobne działanie „rolnictwo ekologiczne”, w którym określono szczegółowe warunki i tryby przyznawania wsparcia finansowego. W perspektywie kolejnych lat ten rodzaj wsparcia okazał się na tyle skuteczny, że zahamowany został trend spadkowy i już w 2017 r. ponad 7600 dużych obszarowo gospodarstw, prowadzących działalność ekologiczną łącznie na ponad 210 tys. ha znajdowało się w fazie formalnego przechodzenia na certyfikowaną produkcję ekologiczną (tabela 6.1).

**Rysunek 6.1.** Liczba gospodarstw dysponujących certyfikatem gospodarstwa ekologicznego w Polsce w latach 2010–2017



Źródło: GUS 2018.

Zarówno liczba gospodarstw z certyfikatem, jak i tych starających się o jego uzyskanie, jest różna w zależności od regionu Polski (rys. 6.2, tab. 6.1). Najwięcej gospodarstw z systemem ekologicznym, ponad 25 tys., w 2017 r. było

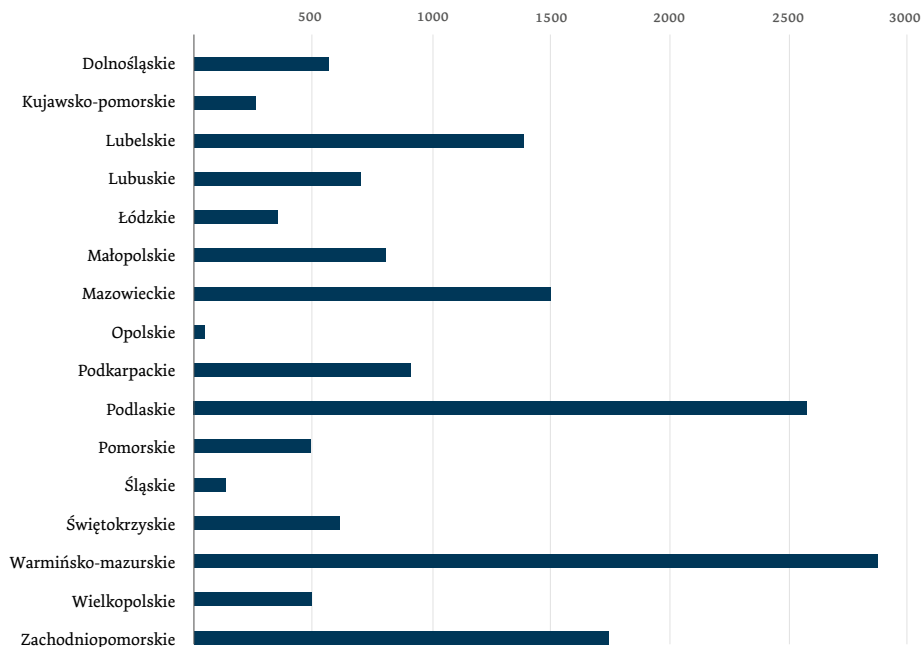
w województwie podlaskim i warmińsko-mazurskim. Na kolejnych miejscach znajdowały się województwa: lubelskie, mazowieckie i zachodniopomorskie. Podobnie ze względu na regionalizację przedstawia się sytuacja w przypadku gospodarstw będących na etapie konwersji do produkcji ekologicznej. Najmniej gospodarstw ekologicznych jest w województwach: opolskim, śląskim, kujawsko-pomorskim, łódzkim i wielkopolskim, czyli w regionach charakteryzujących się intensywną i specjalistyczną produkcją rolną, prowadzoną głównie w systemie konwencjonalnym.

**Tabela 6.1.** Liczba gospodarstw i powierzchnia użytków rolnych (ha) w okresie przechodzenia na rolnictwo ekologiczne w 2017 r.

Województwo	Liczba gospodarstw	Powierzchnia użytków rolnych w ha
Polska	7681	210 974
Dolnośląskie	168	5937
Kujawsko-pomorskie	159	2133
Lubelskie	517	6063
Lubuskie	242	10 600
Łódzkie	123	1829
Małopolskie	129	1416
Mazowieckie	708	10 465
Opolskie	9	601
Podkarpackie	282	2824
Podlaskie	635	8536
Pomorskie	112	5921
Śląskie	30	753
Świętokrzyskie	126	1627
Warmińsko-mazurskie	875	26 250
Wielkopolskie	253	5726
Zachodniopomorskie	419	21 052

Źródło: GUS 2018.

**Rysunek 6.2.** Liczba gospodarstw dysponujących certyfikatem gospodarstwa ekologicznego w Polsce w 2017 r. według województw



Źródło: GUS 2018.

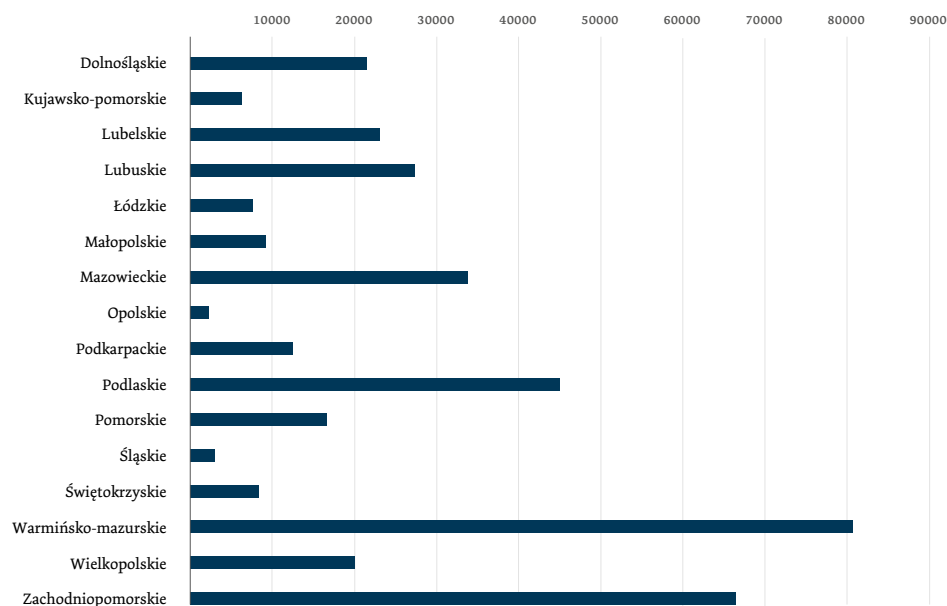
Nie zaskakuje fakt, że regionalizacji gospodarstw ekologicznych odpowiada wielkość powierzchni, na której prowadzona jest produkcja ekologiczna. Największe arealy z produkcją ekologiczną w 2017 r. były w województwie warmińsko-mazurskim – ponad 80 tys. ha i zachodniopomorskim – ponad 66 tys. ha (rys. 6.3).

Zasadą produkcji w gospodarstwach ekologicznych jest ograniczenie użycia chemicznych środków produkcji (Ustawa... 2001, Ustawa... 2009). W związku z tym większość, a nawet cały zasób, dostępnej biomasy jest wykorzystywany w gospodarstwie, głównie jako nawóz (obornik, słoma) wzbogacający glebę w substancje pokarmowe i polepszający jej strukturę (Kuś i Jończyk 2009). Ze względu na tę metodę konserwacji gleby zasoby biomasy, które mogą być przeznaczone na cele pozarolnicze, są w tym systemie znikome. Jednak należy również zwrócić uwagę, że jednym z kierunków docelowej produkcji biomasy w tego typu gospodarstwach może być produkcja roślin przemysłowych. Zachowanie zasad ekologii i wyeliminowanie chemizacji w tym systemie daje np. bardzo duże możliwości w produkcji substratów dla przemysłu farmaceutycznego. Ten kierunek rozwoju rolnictwa aktywnie wspierany jest przez politykę



regionalną (np. RIS woj. lubelskiego) oraz badania naukowe nad definiowaniem i ekstrakcją substancji czynnych z wybranych roślin (np. projekt BioMagic w ramach narodowego programu biostrategicznego finansowanego przez NCBiR).

**Rysunek 6.3.** Powierzchnia (ha) gospodarstw dysponujących certyfikatem gospodarstwa ekologicznego w Polsce w 2017 r. według województw



Źródło: GUS 2018.

Podsumowując, można stwierdzić, że w Polsce istnieje duży potencjał do rozwoju rolnictwa ekologicznego (Stuczyński i in. 2004), które, ze względu na swój korzystny lub też obojętny wpływ na środowisko, może być prowadzone na terenie obszarów cennych przyrodniczo.

**System integrowany**, inaczej zwany zrównoważonym albo harmonijnym, zaczął rozwijać się w latach 80. XX w. w Europie Zachodniej. Jest to system, który zakłada jednoczesną realizację celów ekonomicznych i ekologicznych, poprzez świadome korzystanie z technik wytwarzania, systematyczne udoskonalanie systemów zarządzania, a także wdrażanie nowych form postępu biologicznego i technologicznego (*Wytyczne...* 1995). Głównym celem ekonomicznym gospodarstw integrowanych jest uzyskanie dochodów nie mniejszych niż w innych systemach gospodarowania, przy oszczędnym stosowaniu nawożenia i środków ochrony roślin oraz jednoczesnej produkcji dobrej jakości ziemiopłodów. Z kolei

do celów ekologicznych zalicza się między innymi zwiększenie bioróżnorodności oraz produkcję zdrowej żywności i ograniczenie zagrożeń dla zdrowia konsumenta i środowiska przyrodniczego (Kuś i Stalenga 2006).

W Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) w Puławach w 1994 r. założone zostało doświadczenie, w którym na powierzchni 20 ha prowadzona jest produkcja w trzech systemach gospodarowania: konwencjonalnym, ekologicznym i integrowanym. Jak wynika z badań prowadzonych na tym obiekcie, w okresie 13 lat plony pszenicy ozimej były wyższe w systemie integrowanym średnio o 3% w porównaniu z systemem konwencjonalnym i o 30% w porównaniu z systemem ekologicznym. Większe różnice odnotowano dla zbóż jarych: w systemie integrowanym plony były wyższe o 17% niż w systemie konwencjonalnym i o 20% niż w systemie ekologicznym (Kuś i Jończyk 2009). W systemie integrowanym przyjmuje się, że można ograniczyć stosowanie nawożenia mineralnego i chemicznych środków ochrony roślin o 30%, a nawet o 50% (Kuś i Stalenga 2006), co może zdecydowanie obniżyć koszty produkcji przy niewielkiej obniżce plonów.

Warto podkreślić, że podobnie jak w rolnictwie ekologicznym, tak również w integrowanym, aby uzyskać status gospodarstwa z certyfikatem, należy spełnić wiele wymagań określonych w aktach prawnych, między innymi w Ustawie o ochronie roślin z 2003 r. (Ustawa 2003) oraz Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 26 lipca 2004 r. w sprawie integrowanej produkcji (Rozporządzenie... 2004). W odróżnieniu od gospodarstwa ekologicznego w systemie integrowanym certyfikat można uzyskać dla konkretnej rośliny uprawianej w gospodarstwie. Aby go zdobyć, należy ukończyć szkolenie w zakresie integrowanej produkcji (IP), przestrzegać metodyki IP przygotowanej i zatwierdzonej przez Głównego Inspektora Ochrony Roślin i Nasiennictwa dla każdej rośliny i poddawać gospodarstwo corocznym kontrolom. Metodyka integrowanej produkcji dla poszczególnych roślin zawiera między innymi: planowanie i zakładanie uprawy z uwzględnieniem doboru odmian; zasady nawożenia z uwzględnieniem analiz gleby; metody stosowania racjonalnych sposobów regulowania zachwaszczenia; sposoby pielęgnacji upraw; metody ochrony przed chorobami i szkodnikami z uwzględnieniem metod niechemicznych; zasady higieniczno-sanitarne oraz ogólne zasady wydawania certyfikatów IP.

W Polsce obserwuje się wzrost zainteresowania tym systemem gospodarowania. W głównej mierze system ten dotyczy produkcji sadowniczej i ogrodniczej, ale jest też stosowany w gospodarstwach z uprawami polowymi (pszenica, ziemniaki). W 2017 r. liczba gospodarstw dysponujących certyfikatem produkcji integrowanej wynosiła ponad 3600 i było to ponad trzykrotnie więcej niż w 2010 r. Powierzchnia upraw z certyfikatem produkcji integrowanej w 2017 r. wynosiła ponad 21 tys. ha (tabela 6.2).

**Tabela 6.2.** Gospodarstwa stosujące metody rolnictwa integrowanego w Polsce w latach 2010–2017

Wyszczególnienie	2010	2013	2015	2016	2017
Liczba gospodarstw zgłoszonych	1405	2671	2835	4909	3752
Liczba gospodarstw z certyfikatem	1068	2898	3137	4207	3628
Powierzchnia upraw z certyfikatem w ha	7589	18317	21254	27505	21525

Źródło: Gus (2018) Rocznik Statystyczny Rolnictwa.

Podobnie jak w przypadku systemu ekologicznego uprawy integrowane są nierównomiernie rozłożone w Polsce. Największy obszar, gdzie stosowane są metody integrowanej produkcji, znajduje się w województwie mazowieckim: ponad 11 tys. ha w 2017 r. (tabela 6.3). W województwie opolskim i śląskim ten system produkcji, podobnie jak ekologiczny, nie jest popularny i prowadzony jest na niewielkich powierzchniach, w pojedynczych gospodarstwach.

**Tabela 6.3.** Powierzchnia uprawy (ha) objęta integrowanymi metodami produkcji według województw w latach 2010–2017

Województwo	2010	2013	2015	2016	2017
Dolnośląskie	165	206	145	168	147
Kujawsko-pomorskie	738	791	673	1038	867
Lubelskie	372	1793	975	2016	1491
Lubuskie	17	17	15	36	30
Łódzkie	1299	3576	2067	3630	3221
Małopolskie	229	413	253	655	559
Mazowieckie	3029	8706	8427	14523	11334
Opolskie	1	12	12	11	1
Podkarpackie	144	535	32	163	211
Podlaskie	9	20	34	67	41
Pomorskie	97	249	0	1751	256
Śląskie	121	112	1	77	110
Świętokrzyskie	402	1395	8102	2624	2382
Warmińsko-mazurskie	84	69	242	244	130
Wielkopolskie	827	367	222	415	691
Zachodniopomorskie	55	56	54	86	55

Źródło: GUS (2018) Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2018.

Ogólnie można stwierdzić, że pomimo dużego potencjału zarówno możliwości produkcji, jak też efektywności ekologicznej w tym systemie, produkcja integrowana jest niedoceniana przez rolników, a jej powierzchnia jest w skali kraju marginalna.

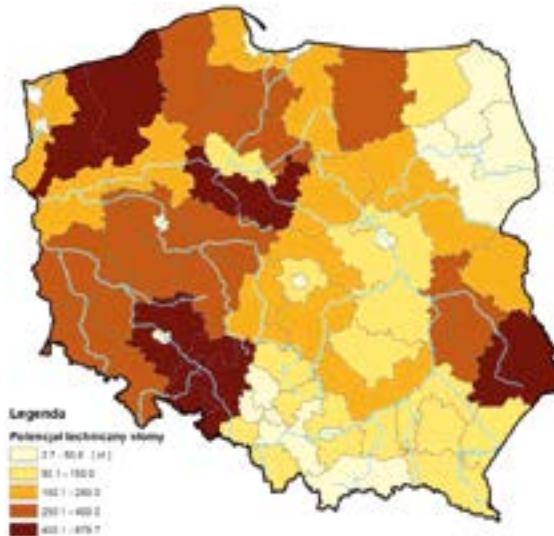
## 6.2. Potencjał nadwyżek biomasy w rolnictwie

Potencjał nadwyżek biomasy w rolnictwie określono dla:

- słomy,
- pozostałości z upraw sadowniczych,
- obornika,
- upraw trwałych przeznaczonych na biomasę,
- nieużytkowanych gruntów rolnych.

Pozostałością z upraw roślin w różnych systemach rolnych, która może być wykorzystywana zgodnie z założeniami biogospodarki, jest głównie **słoma**. Będąc plonem ubocznym z produkcji zbóż, słoma wzbudza rosnące zainteresowanie jako kluczowy surowiec do różnych zastosowań w biogospodarce, np. jako paliwo do skojarzonego wytwarzania ciepła i energii, substrat w destylacji bioetanolu drugiej generacji i wielu innych produktów biologicznych (Gradziuk 2015). To również doskonały materiał, który może być wykorzystany do izolacji termicznej, designerskich mebli, mat do jogi lub elastycznych podłóg w halach sportowych. Największy problem z transportem słomy w jej globalnym wykorzystaniu pozarolniczym polega na tym, że ma ona bardzo małą gęstość nasypową, co niekorzystnie wpływa na możliwości jej efektywnego transportu na większe odległości. Pomimo tak wielu zastosowań, większość zasobów słomy powinna być jednak wykorzystywana w gospodarstwach rolnych jako nawóz, ściółka lub uzupełnienie paszy w hodowli bydła. Inne istniejące rolnicze zastosowania słomy w sektorze ogrodniczym to: cenne podłoże do produkcji grzybów, dla którego nie ma substytutu, lub też do ochrony przed mrozem, czy jako mulcz w uprawie truskawek (Harasim 2001).

Statystyki produkcji rolniczej z ostatnich lat oceniają produkcję słomy średnio na 27,2 mln ton rocznie, co odpowiada wartości energetycznej 354,8 PJ/rok. Z badań wykonanych w IUNG w Puławach, w ramach projektu *BioBoost*, ocenia się, że ogólny potencjał techniczny słomy w Polsce wynosi 12,72 mln ton (166,6 PJ). Potencjał techniczny to zasób, który może być wykorzystany do rozwoju biogospodarki bez strat związanych z produkcją rolniczą (*BioBoost...* 2013, Hamelin i in. 2019). Regionalizację możliwości pozyskiwania słomy dla energetyki i przemysłu przedstawiono na rysunku 6.4.

**Rysunek 6.4.** Regionalizacja zasobów nadwyżek słomy

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pudelko 2013.

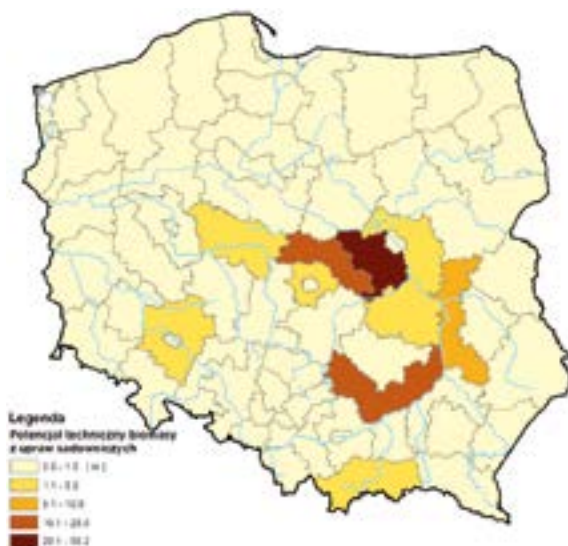
**Pozostałość po wycince zbędnych gałęzi i pędów w plantacjach wieloletnich, takich jak sady owocowe czy winnice,** mogą stanowić uzupełnienie zasobów biomasy zarówno dla energii odnawialnej, jak i dla poprawy żyzności gleby czy zwiększenia sekwestracji węgla w glebie. Obecnie zasoby te nie są szeroko wykorzystane. Z reguły biomasa po wykonanej przecince jest palona bezpośrednio na plantacji. Część sadowników wykorzystuje ją jako opał po uprzednim jej zrębkowaniu. Niestety, tym zasobem do tej pory nie jest zainteresowana energetyka systemowa, pomimo że – jak pokazano na rysunku 6.5 – zasób ten skoncentrowany jest w regionach, które umożliwiają efektywną logistykę tej biomasy do wielu elektrowni i elektrociepłowni (np. Siekierki, Połaniec, Kozienice, Belchatów). Najważniejszymi rejonami upraw sadowniczych są:

- 1) region mazowiecki – w okolicach Grójec – Góra Kalwaria oraz Łowicz – Skierniewice dominuje uprawa jabłoni, między Płońskiem a Płockiem uprawia się maliny, a w okolicy Włocławka porzeczki i agrest;
- 2) region lubelski – ciągnie się od Sandomierza do Puław. Uprawia się tam jabłonie, brzoskwinie, morele, czereśnie i orzechy włoskie;
- 3) region południowy – głównie Kotlina Nowosądecka i Oświęcimska, gdzie dominują jabłonie i śliwy.

Ogólny potencjał techniczny biomasy pochodzącej z corocznych cięć sanitarnych (prześwietlania i formowania koron) szacowany jest na 124,34 tys. ton

(1,23 PJ), z czego w samym regionie Grójca można pozyskać 55,24 tys. ton rocznie, co stanowi ok. 45% ogólnego zasobu tego rodzaju biomasy w Polsce (Hamelin i in. 2019). Zasoby te mogą być nawet większe, ponieważ z badań A. Maciaka i G. Lipińskiej (2006) wynika, że włączając do analiz pozyskiwanie surowca z wymiany sadów w okolicach Grójca, można pozyskać nawet ponad 138 tys. m<sup>3</sup> drewna. Oprócz tego możliwe do pozyskiwania są wyłoki z przetwarzania produktów na miejscu, a nawet liście.

**Rysunek 6.5.** Regionalizacja biomasy stanowiącej pozostałości z upraw sadowniczych



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pudelko 2013.

Alternatywnym sposobem wykorzystania biomasy ubocznej z sadów mogą być małe instalacje produkujące biowęgiel. Technologia ta już jest dostępna na rynku, choć ze względu na cenę jeszcze niedostępna dla małych i średnich gospodarstw sadowniczych.

**Obornik** jako nawóz naturalny jest źródłem substancji organicznej oraz bogatej i korzystnej flory bakteryjnej. Ze względu na wysoki potencjał emisji, powinien być stosowany zgodnie z założeniami zasad dobrej praktyki rolniczej oraz obowiązującymi regulacjami prawnymi (Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r.). Racjonalna gospodarka nawozami naturalnymi może zmniejszyć dawki nawozów mineralnych, co znacznie obniża koszty nawożenia w gospodarstwie. Dotyczy to głównie nawozów azotowych, które są podstawowym czynnikiem plonotwórczym, ale również jednym z najdroższych środków

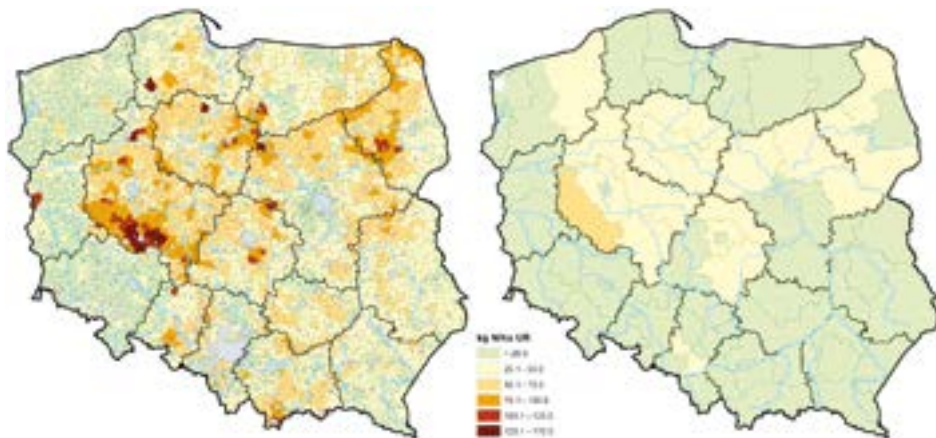
produkcji. Obornik to również źródło tak cennych w uprawie składników, jak fosfor, potas i węgiel. W przypadku fosforu uzupełnianie tego składnika w drodze nawożenia naturalnego jest dla biogospodarki istotne, ponieważ większość nawozów fosforowych wytwarzana jest z fosforytów skalnych, występujących w niewielu krajach: RPA, Jordanii i Maroku. W związku z tym polskie rolnictwo jest całkowicie zależne od jego importu, a transport materiałów masowych zawsze wiąże się z uciążliwością dla środowiska (emisje CO<sub>2</sub>). Z tego względu fosforyt występuje na unijnym wykazie kluczowych surowców, co implikuje konieczność zwiększenia jego zrównoważonego wykorzystania (Hamelin i in. 2019).

Nadwyżki obornika zostały oszacowane dla dwóch scenariuszy zakładających maksymalne i intensywne wykorzystanie nawozów naturalnych na użytkach rolnych (Pudełko 2013). W przeprowadzonym modelowaniu założono priorytet stosowania nawozów naturalnych w stosunku do nawozów mineralnych. W pierwszym scenariuszu biomasę uboczną zdefiniowano jako nadwyżkę odchodów zwierzęcych, która pozostanie po ich wykorzystaniu jako nawóz naturalny, do granicy maksymalnej dawki określonej w dyrektywie azotanowej (170 kg N/ha UR). W drugim, mniej restrykcyjnym, scenariuszu założono, że rolnicy mogą być zainteresowani alternatywnym wykorzystaniem odpadów z produkcji zwierzęcej tam, gdzie produkcja azotu związanego z ilością odchodów zwierzęcych przekracza 85 kg N/ha. Wartość tę wyznaczono jako połowę maksymalnej dawki azotu na ha. Rolnicy zainteresowani są zbywaniem nadwyżek nawozów naturalnych już przy osiągnięciu progu 100 kg N/ha. Jednak w regionach, gdzie intensywnie używa się nawozów mineralnych, próg ten może być niższy.

Wielkość i jakość produkcji obornika uzależniona jest od intensywności hodowli (liczebności inwentarza), rodzaju produkcji (mleko, wołowina, wieprzowina, drób) oraz systemu utrzymania zwierząt (głęboka ściółka, systemy bezściółkowe, wolny wybieg). Szacuje się, że roczna produkcja obornika w Polsce wynosi 64,6 mln ton, co odpowiada wartości energetycznej 846 PJ. Mimo że zasób ten jest tak duży, to jego wykorzystanie w rolnictwie może być całkowite. Wskazują na to analizy regionalne, które pokazują, że tylko w zachodniej Wielkopolsce przypada więcej niż 50 kg azotu na 1 ha użytków rolnych (rys. 6.6 B). Dopiero bardziej dokładna analiza produkcji zwierzęcej (rys. 6.6 A) wykazuje, że w niektórych gminach może wystąpić nadwyżka tego rodzaju biomasy (Pudełko 2013).

Obornik jest cennym paliwem dla biogazowni. Ta forma utylizacji jego nadwyżek wydaje się najwłaściwsza w regionach, w których produkcja obornika przekracza dopuszczalne normy jego wykorzystania w rolnictwie, zwłaszcza że otrzymany w procesie produkcji biogazu poferment jest również wartościowym nawozem.

**Rysunek 6.6.** Możliwości nawożenia azotem przez aplikacje nawozów naturalnych



Źródło: Pudełko 2013.

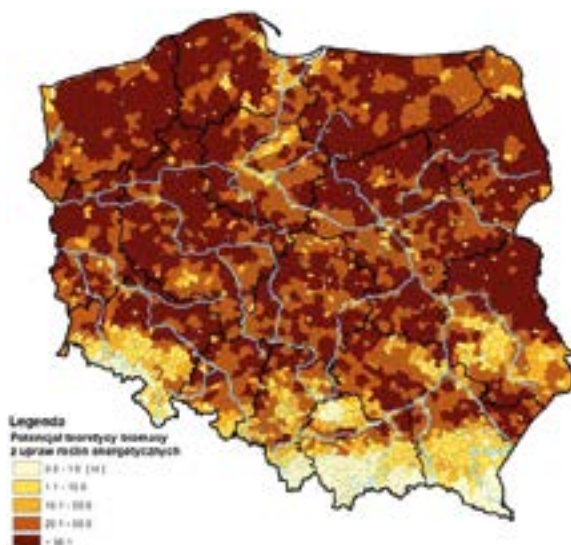
Polska ma duży potencjał dla lokalizacji plantacji roślin wieloletnich, które mogą być uprawiane na cele energetyczne lub jako rośliny przemysłowe (*Bio-Magic...* 2019). Taki rodzaj produkcji może być nazwany **uprawą na biomasę** (w odróżnieniu od produkcji żywności), a uprawiane rośliny – roślinami „biomasowymi”. Podstawowym kryterium w lokalizacji tego typu plantacji są warunki przyrodnicze. Rośliny o szybkim przyroście biomasy potrzebują przede wszystkim dostępnej wody. Ze względu na konkurencyjność z produkcją żywności, uprawy „biomasowe” nie powinny zajmować najlepszych kompleksów glebowych. Jednak z uwagi na oczekiwany duży plon biomasy, nie mogą to być też gleby najslabsze, do jakich zaliczany jest kompleks 7. użyteczności rolniczej gleb lub VI klasa bonitacyjna. Zakładając jedynie, że dla uprawy roślin energetycznych właściwe są grunty orne kompleksu: 5. (żytni dobry), 6. (żytni słaby), 8. (zbożowo-pastewny mocny), 9. (zbożowo-pastewny słaby) oraz użytki zielone kompleksu: 2z (średni), 3z (słaby i bardzo słaby). Ogólna powierzchnia tak scharakteryzowanych gruntów rolnych w Polsce wynosi ponad 9,58 mln ha, co stanowi 65,5% ogólnej powierzchni użytków rolnych (Pudełko i in. 2012). Mapa zamieszczona na rysunku 6.7 charakteryzuje regionalizację tak wybranych kompleksów użyteczności rolniczej gleb.

Kolejnym rozpatrywanym kryterium możliwości uprawy roślin produkowanych na cele energetyczne jest dostępność wody w glebie. Dla większości gatunków, takich jak wierzba (*Salix*), miskantus (*Miscanthus*) czy sorgo (*Sorghum*), powinny być spełnione warunki dostępności wody w gruncie na poziomie 2 m przez większą część roku (zwłaszcza w okresie ich szybkiego



wzrostu). W tej grupie upraw są również gatunki przystosowane do korzystania z głębiej położonych zasobów, np. ślaziowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby), który dzięki głębokiemu systemowi korzeniowemu może być uprawiany w warunkach dostępności wody gruntowej nawet na głębokości 5 m. Obecność nadmiaru wody również nie jest korzystna, dlatego w przypadku uprawy roślin energetycznych należy wykluczyć obszary bagienne oraz podmokłe (z wodą okresowo powierzchniową). Mapa prezentowana na rysunku 6.8 przedstawia powierzchnie gruntów rolnych w gminach, na których spełnione są zarówno warunki glebowe, jak i hydrologiczne. Na jej podstawie można stwierdzić, że ogólny potencjał tego typu areału w Polsce wynosi 3,49 mln ha. Porównanie map (rys. 6.7 i 6.8) uwidacznia też coraz bardziej rysującą się regionalizację możliwości uprawy roślin na cele energetyczne w Polsce.

**Rysunek 6.7.** Potencjalny areał możliwości uprawy roślin „biomasowych” w Polsce

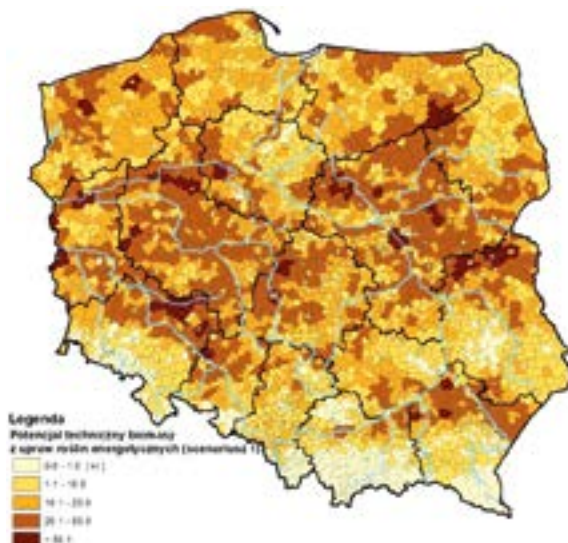


Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pudelko i in. 2012.

Dla upraw energetycznych najważniejszym czynnikiem plonotwórczym związanym z klimatem jest opad. Szybkie przyrosty zielonej masy roślin w sezonie wegetacyjnym wymagają dużych zasobów wody. Dla roślin młodych, z jeszcze nieukształtowanym systemem korzeniowym i w czasie okresowego obniżania się poziomu wody w glebie, jej jedynym, naturalnym źródłem pochodzenia jest opad atmosferyczny. Na podstawie doświadczeń prowadzonych

w różnych jednostkach naukowych, np. IUNG, można założyć, że efektywna produkcja biomasy wymaga opadu na poziomie przynajmniej 550 mm rocznie. Wartość ta w Polsce jest niestety zbliżona do średniej rocznej większości obszarów rolniczych. Według „Atlasu Agroklimatu Polski”, opracowanego w IUNG, najniższe opady występują w Wielkopolsce, na Kujawach i Mazowszu, w związku z czym tereny te nie mogą być docelowe dla lokalizacji dużych plantacji produkujących biomasę. Pełny obraz potencjału naturalnego dla lokalizacji upraw roślin wieloletnich na cele energetyczne obrazuje mapa (rys. 6.9). Na jej podstawie można określić ten potencjał jako 2,36 mln ha.

**Rysunek 6.8.** Potencjał techniczny biomasy z upraw roślin energetycznych uwzględniający dostępność wody w glebie

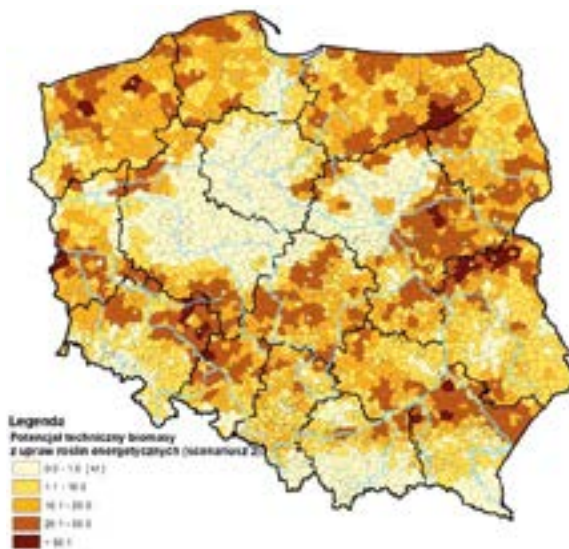


Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pudelko i in. 2012.

W Polsce na terenach rolniczych nie ma tradycji intensywnego uprawiania roślin lignocelulozowych, zwłaszcza w monokulturach o dużym areale. W związku z tym tego rodzaju plantacje spotykają się z protestami ekologów, którzy dostrzegają w nich zagrożenia dla bioróżnorodności i krajobrazu. Często też rośliny energetyczne, które mogą być uprawiane w polskich warunkach, nie są gatunkami rodzimymi (np. miskantus, sorgo, ślaziolec). Uwzględniając powyższe postulaty, należałoby założyć, że produkcja biomasy nie powinna być prowadzona na obszarach chronionych oraz że nie powinna stanowić dominanty w krajobrazie (np. powyżej 10% powierzchni danego regionu lub jednostki administracyjnej). Obecnie restrykcje te nie są regulowane aktami prawnymi

zarówno w kraju, jak i za granicą. Fakt ten może tłumaczyć nikłe zainteresowanie rolników w prowadzeniu tego typu produkcji, a co z tego wynika – brak potrzeby regulacji w tym zakresie. Paradoksalnie, pomimo dużego zapotrzebowania na biomasę, udział plantacji wieloletnich w strukturze upraw w Polsce według danych GUS stanowi jedynie ok. 50 tys. ha. Wiąże się to głównie z brakiem odpowiednich instrumentów wsparcia dla rolnictwa, takich jak bezpośrednie dopłaty do tego rodzaju produkcji, oraz brakiem zainteresowania energetyki w organizowaniu bazy surowcowej (brak obecności na rynku ofert na długoterminowe kontrakty, gwarantujące stałą cenę oraz regularne odbiory towaru) (Gradziuk 2015).

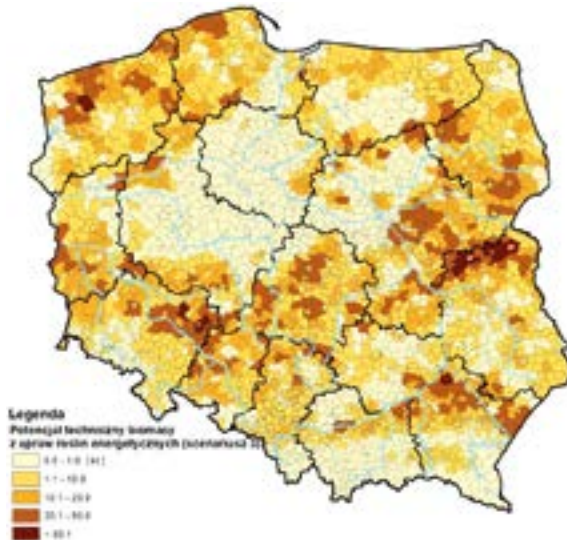
**Rysunek 6.9.** Potencjał techniczny biomasy z upraw roślin energetycznych uwzględniający dostępność wody w glebie oraz warunki klimatyczne



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pudelko i in. 2012.

Ogólny potencjał uprawy biomasy w Polsce, który uwzględnia wszystkie opisane wyżej restrykcje (przydatności gleb, dostępności wody, opadów i ochrony krajobrazu), obrazuje mapa zamieszczona na rysunku 6.10. Na jej podstawie można ocenić, że potencjał ten wynosi ok. 1,59 mln ha, co odpowiada ok. 20 mln ton suchej masy (o wilgotności 15%). Przedstawiony powyżej model nie uwzględnia konkurencyjności z produkcją żywności, daje jednak obraz możliwości regionalizacji rozwoju tego typu działalności rolniczej w Polsce.

**Rysunek 6.10.** Potencjał techniczny biomasy z upraw roślin energetycznych (scenariusz 3)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pudełko i in. 2012.

Powyższe szacunki zasobów biomasy oparto na podstawie wieloletnich badań prowadzonych w IUNG i Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim (Szczukowski i in. 2011, Borzęcka-Walker 2008, Kuś 2010, Matyka 2011). Założono następujące wartości średnich plonów:

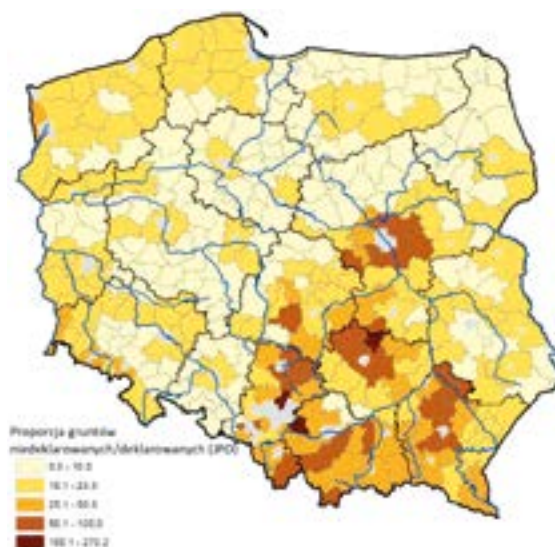
- mискant na kompleksie 5–14 t/ha suchej masy,
- ślázowiec na kompleksie 6–10 t/ha suchej masy,
- wierzby na kompleksie 8 i 9–12 t/ha suchej masy.

Na użytkach zielonych możliwa jest uprawa wierzby energetycznej metodą EkoSalix, dla której założono plon 7 t/ha suchej masy.

Zgodnie z jednym z ważniejszych założeń biogospodarki – pozyskanie biomasy nie powinno konkurować z produkcją rolniczą zabezpieczającą bieżące potrzeby żywnościowe. Z tego względu szczególnego znaczenia nabiera w tym kontekście **wykorzystanie gruntów nieużytkowanych w rolniczej przestrzeni produkcyjnej**. Na podstawie pracy (Pudełko i in. 2018) określono, że obecnie w Polsce areał niewykorzystany rolniczo to ok. 2,03 mln ha, co stanowi 14,16% wszystkich gruntów rolnych. Szacunki te wykonano na podstawie deklaracji rolników wnoszących do ARiMR o przyznanie dopłat bezpośrednich. Jako obszary nieużytkowane rolniczo zakwalifikowano wszystkie

działki ewidencyjne sklasyfikowane jako rolne, które nie zostały zgłoszone do przyznania dopłat, w związku z czym można zakładać, że na ich obszarze nie jest prowadzona żadna działalność rolnicza. Przyczyny marginalizacji tych obszarów bywają złożone, jednak można przyjąć, że głównym problemem odłogowania gruntów rolnych w Polsce jest duże rozdrobnienie gospodarstw przy jednoczesnej obecności słabych gleb. Wyrażna jest również regionalizacja tego problemu. Wysoki stopień nieużytkowania pól dotyczy głównie województw: małopolskiego, podkarpackiego, świętokrzyskiego, śląskiego i części mazowieckiego (rys. 6.11).

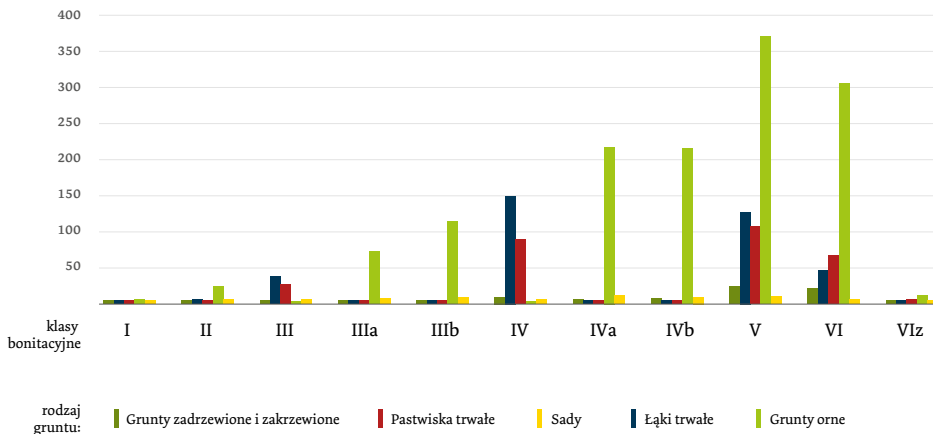
**Rysunek 6.11.** Regionalizacja gruntów nieużytkowanych rolniczo



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pudełko i in. 2018.

Z punktu widzenia ekonomiki produkcji rolniczej grunty odłogowane powinny być zlokalizowane na glebach najsłabszych i marginalnych. Potwierdziły to analizy, wykazujące największy odsetek gruntów nieużytkowanych na klasach V i VI. Jednak znaczący udział mają również lepsze klasy bonitacyjne IVa, VIb, IV (kompleksy 5, 6, 8, 9, 2z, 3z), które z powodzeniem mogą stanowić bazę produkcyjną dla biomasy o różnym przeznaczeniu (rys. 6.12).

**Rysunek 6.12.** Udział powierzchni klas bonitacyjnych gruntów nieużytkowanych według rodzajów użytkowania (tys. ha)



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pudełko i in. 2018.

### 6.3. Systemy produkcji rolnej a środowisko

Gospodarstwo rolne jako część ekosystemu jest ściśle związane ze środowiskiem, w którym funkcjonuje. Realizując produkcję roślinną i (lub) zwierzęcą, zgodnie z zasadami rozwoju zrównoważonego, powinno się współtworzyć krajobraz, chronić glebę, wodę, powietrze i zasoby naturalne, w tym bioróżnorodność ekosystemów. W zależności jednak od stopnia intensywności produkcji rolnej poszczególne systemy rolnicze w różnym stopniu wpływają na środowisko naturalne. O skali zjawiska może świadczyć fakt, że w Polsce rolnictwo użytkuje ponad 60% ogólnej powierzchni kraju, a w skali świata sektor rolny odpowiedzialny jest za 13,7% światowej emisji gazów cieplarnianych (Góral i Rembisz 2017, s. 9–11). Potencjalne obszary wpływu rolnictwa na środowisko naturalne przedstawiono w tabeli 6.4.

**Tabela 6.4.** Obszary wpływu rolnictwa na środowisko

Obszary	Wpływ rolnictwa na środowisko
I. Woda	– zmiany w jakości wody (+/-) – zmiany w ilości wody (+/-)
II. Powietrze	– zmiany w jakości powietrza (+/-) – poziom pyłów i alergenów (-)

Obszary	Wpływ rolnictwa na środowisko
III. Gleba	– zmiany w jakości ziemi (+/-) – zmiany w zasobach ziemi (-/+)
IV. Krajobraz	– zmiany w krajobrazie (+/-) – konserwacja krajobrazu (+)
V. Zasoby biologiczne	– zmiany w bioróżnorodności (+/-) – ochrona bioróżnorodności (+)
VI. Odpady	– produkcja odpadów (-) – zagospodarowanie odpadów (-/+)
VII. Inne obciążenia	– zapach (+/-) – hałas (-)
VIII. Użycie zasobów	– zużycie zasobów nieodnawialnych (-) – zastosowanie zasobów odnawialnych (+)

Źródło: Atkinson i in. 2004.

Należy podkreślić, że w większości przypadków oddziaływanie rolnictwa na środowisko naturalne może mieć zarówno negatywny, jak i pozytywny wpływ. Jednocześnie negatywny wpływ na ekosystemy w postaci, np. zużycia zasobów nieodnawialnych, generowania odpadów czy nasilenia hałasu należy traktować jako koszt, który powinien być uwzględniany w rachunku wyników ekonomicznych prowadzenia działalności rolniczej i w miarę możliwości eliminowany.

**Intensywny sposób gospodarowania w ramach rolnictwa konwencjonalnego**, dzięki stosowaniu coraz większej ilości nawozów sztucznych i chemicznych środków ochrony roślin, mechanizacji rolnictwa, wprowadzaniu nowych odmian roślin uprawnych i zwierząt hodowlanych lepiej przystosowanych do lokalnych warunków klimatycznych, doprowadził do zwiększenia wydajności i efektywności produkcji roślinnej i zwierzęcej, ale jednocześnie do nasilenia zagrożeń ekologicznych (Głodowska i Gałązka 2018, s. 3). Maksymalizacja zysku, która jest celem tego sposobu gospodarowania, może nieść negatywne konsekwencje, zarówno dla jakości zdrowotnej wytwarzanych produktów żywnościowych (możliwe pozostałości pestycydów, metali toksycznych, antybiotyków), jak i dla zasobów naturalnych, od których jesteśmy zależni. Mimo ogromnych zdolności natury do samoregulacji i regeneracji możliwości ekosystemów w tym względzie są jednak ograniczone. Po ich przekroczeniu w wyniku silnego zanieczyszczenia oraz degradacji środowiska naturalnego równowaga środowiskowa może zostać zachwiana, a ekosystem i jego funkcje zaburzone na wiele lat. Intensywne rolnictwo konwencjonalne może wywierać negatywny wpływ na glebę, wodę, powietrze, a także przyczyniać się istotnie do zaniku bioróżnorodności i ubożenia krajobrazu (Kośmicki 1993).



Gleba w produkcji roślinnej i zwierzęcej to kluczowy zasób, który jednak łatwo ulega degradacji i erozji wodnej lub wietrznej. Konsekwencją jest pogorszenie jej właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych, a w efekcie ograniczenie zdolności produkcyjnych. Do degradacji gleb może prowadzić niewłaściwa agrotechnika, pozostawienie odkrytej gleby, nadmierny pobór wód głębinowych, źle prowadzone melioracje odwadniające czy wysoki poziom chemizacji i mechanizacji rolnictwa. Systematyczne zamulanie, nadmierne zagęszczanie na skutek ugniatania, rozpylanie czy przesuszanie gleby może skutkować obniżeniem jej potencjału produkcyjnego i spadkiem wydajności. Przez ograniczanie ilości materii organicznej zostawianej na polu w postaci resztek poźniwnych dochodzi także do niekorzystnych zmian w obrębie próchnicy – następuje jej zubożenie, co wymaga zwiększenia nawożenia mineralnego. W wyniku nadmiernego i nieprzemyślanego nawożenia może z kolei dojść do zakwaszenia gleby i kumulacji w niej pozostałości chemicznych środków ochrony roślin (w nawozach fosforowych i wapniowych może występować podwyższona zawartość metali toksycznych, np. kadmu). Część z nich może być wypłukiwana do wód gruntowych i powierzchniowych, prowadząc do ich zanieczyszczenia, a nawet skażenia. Z wodą związki te mogą też przechodzić do produktów żywnościowych, zarówno roślinnych, jak i zwierzęcych, co może stanowić poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów. Warto zauważyć, że fosfor stosowany w produkcji nawozów fosforowych należy do nieodnawialnych zasobów naturalnych, a przy obecnym poziomie wydobywania i rosnącym zużyciu nawozów fosforowych dotychczasowe zasoby skał fosforanowych zostaną wyeksploatowane już za 100 lat (Isherwood 2000). Odpowiednie więc stosowanie nawozów fosforowych (problemem jest szybka przemiana fosforu w środowisku glebowym, w wyniku czego tylko 15–20% fosforu w roślinie pochodzi z nawozów) (Liu i in. 2008) pozwoli ograniczyć niekorzystne skutki środowiskowe i zmniejszyć zużycie zasobów naturalnych.

Wysoka chemizacja rolnictwa, głównie stosowanie nawozów azotowych, fosforowych i pestycydów, przyczynia się do skażenia wód powierzchniowych i wód gruntowych, a nawet pitnych (szczególnie niebezpieczna jest w tym przypadku podwyższona zawartość azotanów). Duża koncentracja wymywanych substancji chemicznych, zwłaszcza azotanów i fosforanów, prowadzi też do nadmiernego użyczenia zbiorników wodnych, co powoduje rozwój glonów i planktonu, a w efekcie spadek stężenia tlenu i ich eutrofizację (Savici 2012).

Intensywna produkcja zwierzęca i w mniejszym stopniu roślinna przyczynia się do wytwarzania sporej ilości gazów cieplarnianych (metanu, CO<sub>2</sub>, tlenków azotu, amoniaku), które pogłębiają niekorzystne zmiany klimatyczne. Jak wynika z dostępnych danych, produkcja rolnicza jest źródłem 25% metanu



emitowanego na świecie (w największej ilości wydzielają go w procesie trawienia zwierzęta przeżuwające) oraz aż 60% tlenków azotu – są one wydzielane z gleby w wyniku stosowania nawozów mineralnych oraz w trakcie biologicznego wiązania azotu (Głodowska i Gałązka 2018, s. 10). Azot w postaci amoniaku ulatnia się także z budynków inwentarskich, miejsc składowania obornika i podczas nawożenia nim pól. Opadając wraz z deszczem, może przyczynić się do zakwaszenia gleby i zanieczyszczenia wód powierzchniowych.

Wielkoobszarowe gospodarstwa konwencjonalne często nastawione są na produkcję jednego rodzaju upraw. Monokultury obniżają walory krajobrazowe regionu, a także zubożają różnorodność biologiczną flory i fauny ekosystemów rolniczych. Przyczyniają się do zanikania lub utraty naturalnych siedlisk oraz ograniczenia, lub nawet uniemożliwienia, przez brak korytarzy ekologicznych, migracji lub przemieszczania się wielu gatunków zwierząt. Intensywne stosowanie związków chemii rolnej prowadzi do zanikania wielu gatunków zwierząt i roślin naturalnie występujących wcześniej na obszarach wiejskich (Głodowska i Gałązka 2018, s. 11).

**W rolnictwie pozytywnym** przejawem realizowania koncepcji zrównoważonego rozwoju jest rolnictwo ekologiczne (*Kompendium...* 2011, s. 34). Jego rozwój, w przeciwieństwie do intensywnego rolnictwa konwencjonalnego, wpływa korzystnie na kształtowanie środowiska naturalnego. Poprzez przestrzeganie zasad uprawy ekologicznej – stosując zamknięty obieg materii w gospodarstwie, nie używając nawożenia mineralnego i syntetycznych pestycydów oraz dbając o zachowanie równowagi w przyrodzie – producenci rolni przyczyniają się do ograniczania negatywnego wpływu działalności rolnej na środowisko (Ligenzowska 2014, s. 153). Uwzględniając rosnącą świadomość ekologiczną społeczeństwa oraz chęć zachowania bioróżnorodności, w tym dbałość o środowisko naturalne, przy jednocześnie rosnącej świadomości wpływu żywności na zdrowie człowieka, prowadzi to do coraz większego wzrostu zainteresowania produktami ekologicznymi.

Zasady rolnictwa ekologicznego pozwalają na realizację założeń koncepcji rozwoju zrównoważonego w aspektach (Duda-Krynicka i Jaskółcki 2010, s. 85–86):

- ekologicznym – ograniczenie obciążeń dla środowiska wynika z eliminacji stosowania środków chemii rolnej, weterynaryjnej i spożywczej, wykorzystywania odnawialnych środków produkcji, poszanowania mechanizmów biologicznych funkcjonujących w przyrodzie i utrzymywania różnorodności biologicznej;
- ekonomicznym – produkcja metodami ekologicznymi pozwala osiągnąć znaczną niezależność od nakładów zewnętrznych oraz ograniczyć koszty zakupu środków do produkcji;

- społecznym – rolnictwo ekologiczne stymuluje rozwój obszarów wiejskich, ogranicza migrację z terenów wiejskich, wspiera produkcję rolną małych gospodarstw rodzinnych oraz pomaga promować lokalne, regionalne produkty.

W latach 1981–2002 w Instytucie Rodale’a w Stanach Zjednoczonych prowadzono badania porównawcze uprawy kukurydzy i soi w systemie ekologicznym i konwencjonalnym pod kątem środowiskowym, energetycznym i ekonomicznym. W rezultacie 22-letniego eksperymentu sformułowano następujące wnioski (Pimentel i in. 2005):

- w uprawie ekologicznej zaobserwowano większą zawartość materii organicznej oraz azotu w glebie – przy zachowaniu porównywalnego poziomu wymywania azotu w systemie ekologicznym i konwencjonalnym;
- stwierdzono, że wyższa zawartość materii organicznej przyczynia się do ochrony gleby oraz zasobów wody w glebie, co stanowiło szczególną korzyść podczas okresów suszy;
- duża ilość biomasy naziemnej oraz materii organicznej przyczynia się do zwiększenia bioróżnorodności, co z kolei pomaga w biologicznej kontroli szkodników oraz zapyłaniu roślin;
- w uprawie kukurydzy zużycie energii pochodzącej z paliw kopalnych w produkcji ekologicznej było ok. 30% niższe niż w produkcji konwencjonalnej;
- w zależności od rodzaju uprawy, gleby oraz warunków pogodowych wielkość plonów z 1 ha w produkcji ekologicznej i konwencjonalnej była zbliżona – jednak ze względu na konieczność rotacji upraw w systemie ekologicznym preferowane rośliny były rzadziej uprawiane;
- rotacja upraw oraz uprawa ochronna stosowana w rolnictwie ekologicznym prowadzi do ograniczenia zużycia pestycydów, erozji gleby oraz problemów ze szkodnikami;
- stosowanie nawożenia naturalnego w rolnictwie ekologicznym (recykling odpadów pochodzących z utrzymania zwierząt) zmniejsza zanieczyszczenie środowiska, niosąc jednocześnie korzyści w produkcji roślinnej;
- uprawa w rolnictwie ekologicznym wymaga większego nakładu pracy (średnio o 15%) i jest ona bardziej równomiernie rozłożona w ciągu roku niż w rolnictwie konwencjonalnym;
- ze względu na wyższe ceny produktów ekologicznych zysk z produkcji ekologicznej jest taki sam lub wyższy niż z produkcji konwencjonalnej;
- tradycyjne technologie stosowane w produkcji ekologicznej mogą zostać zaadaptowane także w produkcji konwencjonalnej, co sprawi, że będzie ona bardziej zrównoważona i ekologiczna.

Podobne badania nad poziomem zrównoważenia produkcji ekologicznej prowadzono przez 21 lat w Szwajcarii. Doświadczenie polegało na porównaniu wydajności rolniczej i ekologicznej produkcji biodynamicznej, ekologicznej oraz konwencjonalnej (konwertowanej w późniejszym okresie badań na produkcję integrowaną). Dla uznania użytkowania ziemi za zrównoważone ważne jest utrzymanie jej żyzności. Badania P. Mädera i in. (2002) potwierdziły większą aktywność biologiczną oraz większą bioróżnorodność na gruntach utrzymywanych metodą ekologiczną. Stwierdzono, że przestrzeganie zasad rolnictwa ekologicznego pozwala na efektywne wykorzystanie zasobów oraz większą różnorodność flory i fauny. Ostatecznie wyniki badań pozwoliły na sformułowanie wniosku, że produkcja oparta na ekologicznych zasadach wykorzystania płodozmianu z zastosowaniem roślin strączkowych oraz nawożenia naturalnego stanowi realną alternatywę dla produkcji konwencjonalnej (Mäder i in. 2002, s. 1695). Mniejsze zużycie energii oraz zewnętrznych środków produkcji (takich jak nawozy i środki ochrony roślin) w produkcji ekologicznej zostało potwierdzone także przez T.C. Mendozę w dwuletnich badaniach prowadzonych metodą *case study* (Mendoza 2002). Badane gospodarstwa ekologiczne zużywały trzy razy mniej energii do wyprodukowania tej samej ilości zbiorów, a produkcja ta była o 32% tańsza w gospodarstwach ekologicznych niż konwencjonalnych. Oszczędności w zużyciu energii oraz zewnętrznych środków produkcji mają nie tylko znaczenie ekonomiczne dla producentów, ale spełniają też ważną funkcję środowiskową.

Działania w ramach rolnictwa ekologicznego mają za zadanie podtrzymanie, a w miarę możliwości również podwyższenie wartości zasobów naturalnych. Wpływając na środowisko, wieloaspektowo przyczyniają się do (Freyer i in. 2015, s. 85–86):

- zachowania właściwości gleby,
- podtrzymania i zwiększania bioróżnorodności,
- zmniejszenia zużycia wody i energii,
- zwiększenia przyswajalności fosforu przez rośliny,
- zwiększenia plonów poprzez strategie agroekologiczne,
- elastycznego dostosowania się do zmian klimatu,
- poprawy walorów krajobrazowych i ochrony dzikiej przyrody,
- zmniejszenia ryzyka rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych (ze względu na rozproszenie produkcji oraz promowanie bioróżnorodności),
- rozwoju produkcji wolnej od środków chemicznych, regionalnej, różnorodnej żywności,
- zapobiegania zanieczyszczeniom wód i gleby i przyczynia się do polepszenia ich jakości.

W rolnictwie ekologicznym ochronie, utrzymaniu żyzności, poprawie kondycji i struktury gleby, a także zwiększeniu różnorodności biologicznej służą (Głodowska i Gałązka 2017, s. 155–158):

- wieloletni, zróżnicowany płodozmian, którego stosowanie przyczynia się do utrzymania żyzności gleby i dostarcza składników pokarmowych (np. koniczyna wiążąc azot atmosferyczny, zwiększa jego zawartość w glebie), pozwala ograniczyć zachwaszczenie oraz występowanie chorób i szkodników. Dobór odpowiednich roślin odpornych na choroby i szkodniki zwiększa szanse roślin uprawnych względem gatunków niepożądanych;
- wysiewanie poplonów ścierniskowych i ozimych, które nie tylko stanowią pokarm dla zwierząt, ale chronią powierzchnię gleby po zbiorach, zapobiegając jej erozji i wymywaniu składników pokarmowych;
- zakaz używania syntetycznych nawozów mineralnych i chemicznych środków ochrony roślin, co pozwala uniknąć zanieczyszczenia ich pozostałościami nie tylko gleby, ale również wody i żywności. W zamian wprowadza się naturalnych wrogów szkodników i chwastów, co wzbogaca różnorodność świata zwierzęcego;
- stosowanie nawozów organicznych, które dostarczają składników odżywczych dla roślin, poprawiają strukturę gleby i przeciwdziałają erozji. Sprzyjają one również rozwojowi mikroorganizmów glebowych, które odpowiadają za biodegradację materii organicznej w glebie i obieg pierwiastków;
- zakładanie zadrzewień śródpolnych, które sprzyjają zachowaniu bioróżnorodności oraz zapobiegają erozji gleby i utracie składników pokarmowych;
- prowadzenie wypasu zwierząt na różnych pastwiskach, co pozwala uniknąć ich nadmiernej eksploatacji, umożliwia odrastanie trawy, zapobiega ich jałowieniu i utracie składników pokarmowych w glebie;
- zakaz stosowania, zarówno w produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej, organizmów modyfikowanych genetycznie i priorytetowe traktowanie lokalnych odmian roślin i ras zwierząt, co służy podtrzymaniu różnorodności biologicznej w regionie;
- utrzymywanie w odpowiednim stanie gruntów ugorowanych i odłogowanych;
- zakaz wypalania roślinności na łąkach, pastwiskach, nieużytkach rolnych, rowach, ścierniskach, trzcinowiskach i szuwarach.

W zakresie gospodarowania wodą rolnictwo ekologiczne między innymi przez racjonalne jej wykorzystywanie dąży do zachowania jej naturalnych zasobów i przeciwdziałania jej odpływowi. Stosowanie właściwego płodozmiaru i nawozów organicznych oraz odpowiedni dobór roślin pozwala poprawiać strukturę gleby i zwiększać jej pojemność wodną. Podobnie zakładanie i utrzymanie

zadrzewień śródpolnych, łąk i naturalnej roślinności pozwala zatrzymywać w środowisku większą ilość wód opadowych, a eliminacja nawozów sztucznych i pestycydów – zachować odpowiednią jakość wody i ograniczyć możliwość jej skażenia (Głodowska i Gałązka 2017, s. 156).

Rolnictwo ekologiczne w niewielkim stopniu przyczynia się do zanieczyszczenia powietrza, między innymi z uwagi na ograniczenie intensywnego chowu zwierząt. Produkcja zwierzęca jest ściśle powiązana z produkcją roślinną, na określoną liczbę zwierząt musi przypadać ściśle uregulowana prawnie powierzchnia wybiegu.

Gospodarowanie metodami ekologicznymi wspiera wszelkie procesy życiowe zachodzące w naturalnych ekosystemach, ograniczając do minimum próby zdominowania przyrody. Dąży się do zamknięcia obiegu materii organicznej i składników pokarmowych w obrębie gospodarstwa oraz podtrzymania i wzmocnienia cykli biologicznych, począwszy od mikroorganizmów, przez florę i faunę glebową, aż po rośliny i zwierzęta gospodarskie. Maksymalnie wykorzystuje się odnawialne zasoby przyrody w danym regionie oraz stosuje się materiały i substancje nadające się do wielokrotnego użytku lub ewentualnie recyklingu w gospodarstwie lub poza nim. Podejmowane działania, w tym tworzenie lub utrzymywanie istniejących łąk, zadrzewień śródpolnych, naturalnych cieków wodnych, urozmaicone zagospodarowanie gruntów – służy kształtowaniu krajobrazu wiejskiego i zachowaniu bioróżnorodności. Wszystko to ma na celu podwyższenie zdrowotności gleby, roślin, zwierząt, a wreszcie człowieka i środowiska naturalnego jako całości, w poczuciu odpowiedzialności za zdrowie i dobrostan współczesnych i przyszłych pokoleń (Głodowska i Gałązka 2017, s. 162). Mimo że wydajność i produktywność produkcji ekologicznej jest znacznie niższa niż konwencjonalnej, to żywność ekologiczna, choć nie tak atrakcyjna wizualnie jak konwencjonalna, jest smaczniejsza i bezpieczniejsza pod względem zdrowotnym, w związku z czym cieszy się coraz większym zainteresowaniem konsumentów.

Pojawiają się też wyniki nowych badań w zakresie wpływu ekologicznej uprawy roślin na środowisko. Uczeni ze Szwecji dowodzą, że bardziej obciąża ona środowisko niż produkcja żywności konwencjonalnej – do wyprodukowania takiej samej ilości żywności ekologicznej potrzeba, z uwagi na mniejszą wydajność z hektara i eliminację nawozów sztucznych, znacznie większego obszaru ziemi uprawnej. W efekcie taka produkcja rolna pośrednio prowadzi do zwiększonej emisji CO<sub>2</sub>, między innymi z uwagi na wycinkę lasów w celu zwiększania powierzchni upraw. Zespół pod kierownictwem prof. Wirseniusa wykazał, że uprawa pszenicy ozimej miała o 70%, a groszku o 50% bardziej negatywny wpływ na klimat niż uprawa tych samych odmian metodami konwencjonalnymi z wykorzystaniem nawozów mineralnych (Searchinger i in.

2018, s. 249–251). Naukowcy podkreślają, że wpływ żywności ekologicznej na klimat wymaga dalszych badań.

**Rolnictwo integrowane** to całościowy (holistyczny) model produkcji, bazujący na minimalizacji zużycia nakładów zewnętrznych, w tym energetycznych, przy zachowaniu, a nawet wzroście efektywności. Jest to łagodniejszy dla środowiska typ rolnictwa, który zakłada mniejsze niż w rolnictwie konwencjonalnym wykorzystanie chemicznych środków ochrony roślin i nawozów sztucznych – stosuje się w ostateczności na podstawie zaleceń służby ochrony roślin, a nie według zaleceń producentów środków ochronnych. Nad chemiczne metody zwalczania organizmów szkodliwych przedkłada się metody biologiczne, fizyczne i inne metody niechemiczne, jeżeli zapewniają one ochronę przed organizmami szkodliwymi – progi ekonomicznej szkodliwości patogenów określają, kiedy stosowanie chemicznej ochrony roślin staje się ekonomicznie opłacalne, tzn. przy jakiej liczebności organizmu szkodliwego dla roślin straty, jakie może on spowodować, przewyższają koszty jego chemicznego zwalczania.

Uprawa roślin powinna być zgodna z warunkami siedliska, stosowany jest płodozmian i nawożenie zharmonizowane, dzięki czemu ograniczany jest negatywny wpływ na środowisko, a jednocześnie istnieje możliwość zwiększenia (w stosunku do rolnictwa ekologicznego) produktywności i uzyskiwania większej ilości bezpiecznej żywności wysokiej jakości. Przyjmuje się, że jeżeli chodzi o przejście od intensywnego gospodarowania metodami konwencjonalnymi do systemu integrowanego, istnieje możliwość ograniczenia zużycia chemicznych środków ochrony roślin i nawozów mineralnych nawet o 30–50%, co w konsekwencji niesie 3–7-procentowy spadek ilości plonów, ale pozwala też zminimalizować negatywny wpływ na środowisko. Efektywność wykorzystania chemicznych środków produkcji warunkuje specjalistyczna wiedza umożliwiająca precyzyjne ustalenie wielkości ich dawek i terminów stosowania. W rezultacie uzyskuje się żywność pochodzenia roślinnego, w której nie odnotowuje się przekroczeń dopuszczalnych poziomów pozostałości środków ochrony roślin, azotanów i innych pierwiastków, w tym metali toksycznych (Góral i Rembisz 2017, s. 13).

Stosowanie takiego systemu przynosi wymierne korzyści dla środowiska naturalnego, przyczyniając się do poprawy jakości powietrza, wód gruntowych i żyzności gleb. Prowadzi także do obniżenia emisji gazów cieplarnianych i zużycia energii ze źródeł nieodnawialnych oraz zwiększenia bioróżnorodności ekosystemów i krajobrazu rolniczego.

Stosowanie płodozmienu, z uwzględnieniem uprawy roślin bobowatych, wiążących azot i poprawiających fizyko-chemiczną strukturę gleby, sprzyja

wzbogacaniu gleby w azot i materię organiczną. Dzięki temu istnieje możliwość ograniczenia w gospodarstwie nawożenia mineralnego oraz zmniejszenia liczby zabiegów uprawy roli, co sprzyja magazynowaniu węgla w glebie oraz przyczynia się do zmniejszenia efektu cieplarnianego. Ponadto dbałość rolnika o utrzymywanie dużej różnorodności gatunkowej roślin uprawnych i dzikich wpływa na zwiększenie różnorodności mikroorganizmów, w tym dżdżownic, które przyczyniają się do zwiększenia zawartości próchnicy w glebie i poprawy jej żyzności oraz produktywności (*Rolnictwo zrównoważone...* 2017).

Zużycie nawozów zgodnie z planem nawożenia i dostosowanie azotu do zapotrzebowania roślin ogranicza emisję tego składnika do atmosfery i wód gruntowych. Ogranicza również wymywanie z gleby, na obszarach o znacznym nachyleniu, do wód powierzchniowych składników pokarmowych, szczególnie azotu i fosforu oraz pozostałości po środkach ochrony roślin. Pozwala to chronić zwłaszcza gleby lekkie.

Dodatkowo utrzymanie bioróżnorodności roślin uprawnych i dzikich w gospodarstwie zwiększa liczebność owadów pożytecznych, które są naturalnymi wrogami szkodników. Ich bytowaniu służy utrzymywanie w gospodarstwie naturalnych zadrzewień, zalesień śródpolnych, cieków wodnych itp. Siedliska te stanowią miejsca bytowania, schronienia oraz pokarmu dla organizmów pożytecznych. Zachowanie ich w gospodarstwie może wpłynąć na ograniczenie lub wyeliminowanie zużycia chemicznych środków ochrony roślin.

System integrowanej produkcji roślinnej przyczynia się do ograniczenia skażenia środkami chemicznymi i metalami toksycznymi, zmniejszenia erozji gleby i zwiększenia w niej zawartości próchnicy, a tym samym zapobiega jej wyjałowieniu. Prowadzi też do zmniejszenia zasolenia i zakwaszenia gleby, utrzymania jej struktury i żyzności, zapobiega eurofizacji wód, sprzyja utrzymaniu retencji wód w gruncie. Pozwala na ograniczenie emisji do atmosfery gazów cieplarnianych i zmniejszenie uciążliwości produkcji przez zmniejszenie emisji pyłów i odorów, zapobiega przenikaniu do wód gruntowych nadmiernych ilości substancji szkodliwych.

Dzięki temu możliwa jest realizacja celów ekonomicznych przy jednoczesnej ochronie i poprawie efektywności wykorzystania zasobów naturalnych, zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju, co pozwala maksymalizować zakładane efekty przy jednoczesnym ograniczeniu negatywnego wpływu działalności człowieka na środowisko celem zachowania go dla przyszłych pokoleń.

Biomasa pochodzenia rolniczego stanowi dla biogospodarki największą bazę surowcową spośród innych dostępnych zasobów. Opracowywane obecnie w ramach wielu programów strategię jej zrównoważonego wykorzystania mają przyczynić się do uniezależnienia krajowych zasobów biomasy od biomasy importowanej oraz paliw kopalnych. Podkreślając kluczowe znaczenie tych działań, Unia Europejska uznała je za obszar priorytetowy, o wysokim potencjale przyszłego zrównoważonego rozwoju. Świadczy o tym m.in. przyjęta w 2009 r. Dyrektywa RED (*Renewable Energy Directive*, 2009/28/WE) oraz kolejne dokumenty legislacyjne Komisji Europejskiej (m.in. COM, 2010/C 160/01 i 160/02; OJ L151, 2010; EC, 2010). Wytwarzanie większości produktów z biomasy nie jest kwestią złożoną. Wiele towarów można łatwo wykonać nawet tradycyjnymi metodami. Jednak najbardziej przyszłościowym i innowacyjnym sposobem zagospodarowania biomasy odpadowej i plonów ubocznych są zaawansowane technologie produkcji paliw drugiej i trzeciej generacji oraz ekstrakcje substancji specyficznych w przemyśle chemicznym. Kluczem do stworzenia realnej biogospodarki będzie zatem rozwój nowych technologii, które mogą przekształcić odnawialne zasoby naturalne w energię oraz bardziej złożone biochemiczne substancje i bioplastiki. Ponadto w kontekście logistyki biomasy ważne jest poznanie dostępności tych zasobów w regionach oraz powiązanie bazy surowcowej z najbliższymi występującymi obiektami jej przetwarzania.

## Literatura

- A Sustainable Bioeconomy for Europe* (2018), COM(2018)673.
- Atkinson G., Baldock D., Bowyer C., Newcombe J., Ozdemiroglu E., Pearce D., Provins A. (2004), *Framework for Environmental Accounts for Agriculture*, London.
- BioBoost Deliverable D1.2. The Feedstock Potential Assessment for EU-27+ Switzerland in NUTS-3, [http://bioboost.eu/uploads/files/bioboost\\_d1.2\\_iung\\_feedstock\\_potential\\_vers1\\_0-final.pdf](http://bioboost.eu/uploads/files/bioboost_d1.2_iung_feedstock_potential_vers1_0-final.pdf) (dostęp: 27.04.2019).
- Borzęcka-Walker M., Faber A., Borek R. (2008) *Evaluation of carbon sequestration in energetic crops (Miscanthus and coppice willow)*, International Agrophysics, 22.
- Borzęcka-Walker M., Faber A., Kozyra J., Pudelko R., Mizak K., Syp A. (2012) *Modelling the Impact of Climate Change on Miscanthus and Willow for Their Potential Productivity in Poland*, „Journal of Food, Agriculture & Environment”, vol. 10(3–4).
- Duda-Krynicka M., Jaskótecki H. (2010), *Historia i perspektywy rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*, „Problemy Ekologii”, vol. 2(14).
- Duer I., Fotyma M., Madej A. (2004) *Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej*, MRiRW, Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- Freyer B., Bingen J., Klimek M., Paxton R. (2015), *Feeding the World – The Contribution of IFOAM Principles*, [w:] *Re-Thinking Organic Food and Farming in a Changing World*, red. B. Freyer, J. Bingen, Springer.



- Głodowska M., Gałązka A. (2017), *Wpływ rolnictwa ekologicznego na środowisko w koncepcji rozwoju zrównoważonego*, „Wieś i Rolnictwo”, nr 2(175).
- Głodowska M., Gałązka A. (2018), *Intensyfikacja rolnictwa a środowisko naturalne*, „Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych”, nr 592.
- Góral J., Rembisz W. (2017), *Produkcja w rolnictwie w kontekście ochrony środowiska*, „Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich, vol. 1(214).
- Gradziuk P., (2015) *Gospodarcze znaczenie i możliwości wykorzystania słomy na cele energetyczne w Polsce*. Monografie i rozprawy naukowe, 45, IUNG, Puławy.
- GUS (2018), *Rocznik statystyczny rolnictwa*, Warszawa.
- Hamelin L., Borzęcka M., Kozak M., Pudelko R. (2019), *A Spatial Approach to Bioeconomy: Quantifying the Residual Biomass Potential in the EU-27*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews”, nr 100.
- Harasim A., (2001) *Gospodarowanie słomą*, Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy.
- Isherwood K.F. (2000), *Mineral Fertilizers Use and the Environment*, International Fertilizers Industry Association, Paris.
- Jończyk K., (2014) *Rozwój rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Zeszyty Naukowe WSEI seria: Ekonomia, 8, 1/2014.
- Kompendium rolnictwa ekologicznego* (2011), red. J. Błażej, Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów.
- Kośmicki E. (1993), *Tendencje rozwojowe rolnictwa na świecie i w Polsce*, [w:] *Rolnictwo ekologiczne od teorii do praktyki*, red. U. Sołtysiak, Stowarzyszenie Ekoland, Warszawa.
- Krasowicz S. (2009) *W Polsce powinno dominować rolnictwo zrównoważone*, [w:] *Przyszłość sektora rolno-spożywczego i obszarów wiejskich*, IUNG-PIB, Puławy.
- Kuś J. (1995), *Systemy gospodarowania w rolnictwie. Rolnictwo integrowane*, Materiały szkoleniowe, 42/95, IUNG, Puławy.
- Kuś J. (2002), *Systemy gospodarowania w rolnictwie*, [w:] *Mały poradnik zarządzania gospodarstwem rolniczym*, Materiały szkoleniowe 9, IERiGŚ, Warszawa.
- Kuś J., Jończyk K. (2009), *Produkcyjne i środowiskowe następstwa ekologicznego, integrowanego i konwencjonalnego systemu gospodarowania*, „Journal of Research and Application in Agriculture Engineering”, vol. 54(3).
- Kuś J., Matyka M. (2010), *Plonowanie i cechy biometryczne wierzby w zależności od warunków siedliskowych*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, nr 3.
- Kuś J., Matyka M., (2010), *Plonowanie i cechy biometryczne wierzby w zależności od warunków siedliskowych*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, nr 3.
- Kuś J., Stalenga J. (2006), *Perspektywy rozwoju różnych systemów produkcji rolniczej w Polsce*, „Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin”, nr 242.
- Ligenzowska J. (2014), *Rolnictwo ekologiczne na świecie*, Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie „Problemy Rolnictwa Światowego”, t. 14 (XXIX), z. 3.
- Liu Y., Villalba G., Ayres R.U., Schroder H. (2008), *Global Phosphorus Flows and Environmental Impacts from a Consumption Perspective*, „Journal of Industrial Ecology”, vol. 12(2).

- Maciak A., Lipińska G., (2006) *Możliwości i koszty pozyskania drewna z sadów*, Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna, nr 2.
- Mäder P., Fliessbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U. (2002), *Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming Science*, „Science”, vol. 296.
- Matyka M., Kuś J. (2011), *Plonowanie i cechy biometryczne wybranych genotypów miksanta*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, nr 2.
- Mendoza T.C. (2002), *Comparative Productivity, Profitability and Energy Use in Organic, LEISA and Conventional Rice Production in the Philippines*, „Livestock Research for Rural Development”, vol. 14(6).
- Niewiadomski W. (1993), *Rolnictwo jutra*, Materiały konferencyjne „Biologiczne środowisko uprawne a zagrożenia chorobowe roślin”, ART., Olsztyn.
- Pimentel D., Hepperly P., Hanson J., Doubs D., Seidel R. (2005), *Environmental, Energetic and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems*, „BioScience”, vol. 55(7).
- Pudelko R., (2013) *Ocena potencjałów biomasy ubocznej i odpadowej w UE-27 i Szwajcarii oraz ich regionalizacja*, IUNG-PIB. Monografie i Rozprawy Naukowe, nr 39, Puławy.
- Pudelko R., Borzęcka-Walker M., Faber A., Borek R., Jarosz Z., Syp A. (2012), *The Technical Potential of Perennial Energy Crops in Poland*, „Journal of Food, Agriculture & Environment”, vol. 10(2).
- Pudelko R., Kozak M., Jędrejek A., Gałczyńska M., Pomianek B., (2018) *Regionalisation of unutilised agricultural area in Poland*, Polish Journal of Soil Science, 2018, 51.
- Rolnictwo zrównoważone sposobem na produkcję bezpiecznej żywności i ochronę środowiska naturalnego* (2017), Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, <https://cdr.gov.pl/57-aktualnoci/cdr-informuje/2459-rolnictwo-zrownowazone-sposobem-na-produkcje-bezpiecznej-zywnosci-i-ochrone-srodowiska-naturalnego> (dostęp: 28.05.2019).
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 26 lipca 2004 r. w sprawie integrowanej produkcji.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 czerwca 2018 r. w sprawie przyjęcia „Programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu”.
- Savci S. (2012), *An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer*, „International Journal of Environment and Sustainable Development”, vol. 3(1).
- Searchinger T.D., Wierseni S., Beringer T., Dumas P. (2018), *Assessing the Efficiency of Changes in Land Use for Mitigating Climate Change*, „Nature”, vol. 564.
- Strategia biogospodarki dla Europy* (2012), (COM(2012)60).
- Stuczyński T., Terelak H., Kuś J. (2004), *Waloryzacja warunków środowiskowych dla potrzeb rozwoju rolnictwa ekologicznego*, [w:] *Wkład nauk rolniczych w rozwój rolnictwa ekologicznego w Polsce*, Ekofestyn, IUNG Puławy.
- Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J., (2011) *Plon biomasy wierzby produkowanej systemem EKO-SALIX*, *Fragmenta Agronomica*, 28(4).

Ustawa z dnia 16 marca 2001 r. o rolnictwie ekologicznym (2001), Dz.U. 2001 nr 38, poz. 452.

Ustawa z dnia 18 grudnia 2003r. o ochronie roślin (2003) Dz.U. 2004 r. nr 11, poz. 94.

Ustawa z dnia 25 czerwca 2009 r. o rolnictwie ekologicznym. Dz.U. 2009 nr 116, poz. 1054.

*Wytyczne do integrowanej produkcji rolnej* (1995), red. E. Majewski, Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa (FDPA), Warszawa.

# BIOPRODUKTY W ROLNICTWIE

## 7.1. Metody ochrony roślin

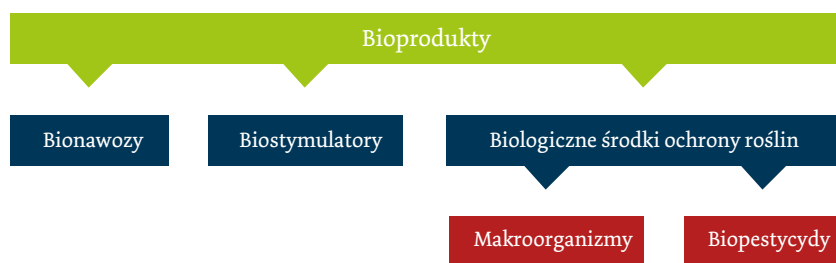
W ochronie roślin od lat dominuje stosowanie pestycydów chemicznych, co ma obok oczywistych korzyści liczne negatywne konsekwencje. Według szacunków WHO każdego roku dochodzi do 3 mln przypadków zatruc pestycydami syntetycznymi, co powoduje ponad 250 tys. zgonów. Badania naukowe wykazały szkodliwe działanie wielu substancji aktywnych pestycydów. Obserwuje się związek pomiędzy narażeniem na pestycydy a nowotworami, chorobami układu nerwowego, oddechowego, rozrodczego, moczowego i innych. Oprócz bezpośredniego negatywnego wpływu substancji czynnych pestycydów syntetycznych na zdrowie ludzi i zwierząt, nadmierne lub niewłaściwe ich stosowanie wiąże się również ze (Stoytcheva 2011):

- stosunkowo szybkim uodparnianiem się agrofagów, co powoduje utratę skuteczności prowadzonej ochrony;
- zanieczyszczeniem wody, gleby i powietrza, a w konsekwencji ciągłym wprowadzaniem pozostałości pestycydów do łańcuchów troficznych;
- zmniejszaniem bioróżnorodności z powodu małej selektywności licznych pestycydów i toksycznym oddziaływaniem na składowe środowiska;
- powstawaniem wad genetycznych u organizmów narażonych;
- zmianami w naturalnej równowadze biologicznej poprzez redukcję pożytecznych i niebędących przedmiotem zwalczania organizmów (np. wrogów naturalnych szkodników lub owadów zapylających).

Inne syntetyczne, chemiczne środki produkcji w rolnictwie, stosowane na masową skalę, również mogą mieć negatywny wpływ na środowisko. Obowiązująca obecnie Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE z dnia 21 października 2009 r. ma na celu dążenie do zrównoważonego stosowania pestycydów chemicznych, zmniejszenie zagrożeń dla zdrowia ludzi wynikających z ich stosowania oraz promowanie integrowanej ochrony roślin oraz innych alternatywnych, bezpiecznych metod ochrony upraw we wszystkich

krajach Unii Europejskiej. Zaliczane do bioproduktów biologiczne środki ochrony roślin stanowią taką alternatywę i mogą być w takim samym stopniu skuteczne, jak konwencjonalne środki syntetyczne, przy czym najczęściej są znacznie bardziej bezpieczne dla ludzi i środowiska. Obecnie produktami biologicznymi w rolnictwie są nie tylko biologiczne środki ochrony roślin, ale także biostymulatory i nawozy biologiczne, a ich znaczenie na rynku środków produkcji stale wzrasta. Podział bioproduktów oferowanych obecnie jako alternatywa syntetycznych chemicznych środków produkcji przedstawiono na rysunku 7.1.

**Rysunek 7.1.** Ogólny podział bioproduktów stosowanych we współczesnym rolnictwie



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Dunham2017.

## 7.2. Bionawozy

Nawozy to podstawowe środki produkcji rolniczej – odpowiadają za poziom plonowania i umożliwiają uprawę na glebach z niedoborem składników. Do składników pokarmowych pobieranych z gleby przez rośliny należy zaliczyć:

- główne makroelementy: azot, fosfor, potas,
- inne niezbędne makroelementy: wapń, magnez, siarka,
- niezbędne mikroelementy: bor, chlor, miedź, żelazo, mangan, molibden, cynk,
- dodatkowe mikroelementy niezbędne niektórym roślinom: sód, krzem, kobalt, glin.

Zapotrzebowanie roślin na składniki pokarmowe w intensywnym rolnictwie konwencjonalnym jest zaspokajane przede wszystkim przez syntetyczne nawozy mineralne. Produkcja i stosowanie nawozów mineralnych może generować problemy środowiskowe. Do produkcji nawozów nieorganicznych niezbędne są zasoby naturalne, np. rolnictwo jest głównym konsumentem światowych złóż fosforu. Ocenia się, że zasoby fosforu (złóż jest jedynie kilka na świecie) będą

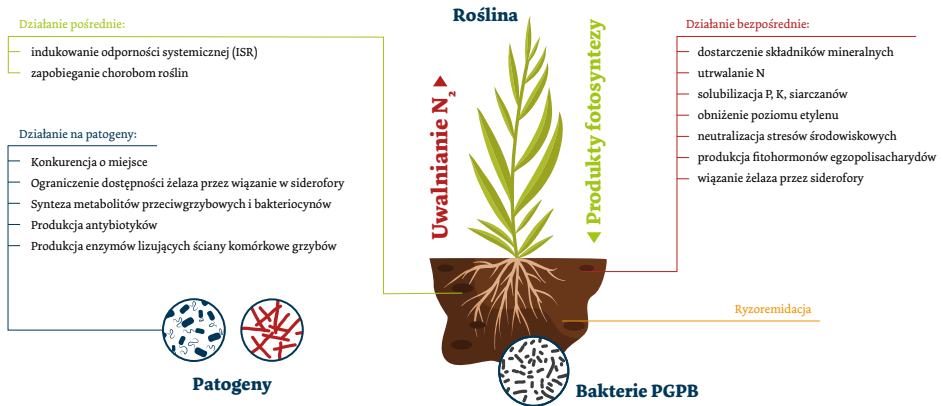
mogły zaspokajać potrzeby rolnictwa jedynie do 2030 r. (Cordell i in. 2009). Dla produkcji nawozów azotowych ogromne znaczenie mają paliwa kopalne. Z kolei użycie paliw kopalnych poprzez uwalnianie do atmosfery  $\text{CO}_2$  to jeden z tzw. antropogenicznych czynników zmian klimatycznych. Ograniczenie emisji dwutlenku węgla stanowi priorytet przeciwdziałania zmianom klimatycznym, co z kolei może decydować o skali produkcji nawozów syntetycznych, szczególnie azotowych. Nawozy azotowe wytwarza się głównie z gazu ziemnego. Do produkcji, transportu i aplikacji tony nawozu azotowego wymagana jest ilość energii odpowiadająca dwóm tonom benzyny. W 1950 r. rolnicy stosowali nie więcej niż 5 mln ton azotu mierzonego w kategoriach rzeczywistej wartości odżywczej, a w 2015 r. było to aż 110 mln ton. Dzięki 23-krotnemu zwiększeniu dawek azotu czterokrotnie zwiększono głównie produkcję zbóż. Nawozy azotowe charakteryzuje największe zapotrzebowanie na energię – jest to 78 230 kJ na kg nawozu w procesie produkcji (89% tego zapotrzebowania), pakowania (3%), transportu (6%) i aplikacji (2%). Dla porównywania zapotrzebowanie nawozów fosforowych to niespełna 17 500 kJ/kg, a potasowych 13 800 kJ/kg (Helsel 1992, Gellings i Parmenter 2004).

Nieracjonalne stosowanie nawozów mineralnych powoduje zanieczyszczenie środowiska i uratę bioróżnorodności. Intensywne nawożenie mineralne jest tylko częściowo wykorzystywane przez rośliny, część składników pozostaje w glebie, a kolejna jest tracona w ekosystemach poprzez erozję (fosfor) lub ulatnianie i wymywanie (azot). Nawozy azotowe stanowią główne źródło azotanów w glebie, a przy niskich stężeniach tlenu w glebie część azotanów jest denitryfikowana przez bakterie, co powoduje straty w postaci  $\text{N}_2$  i podtlenku azotu. Podtlenek azotu jest zaliczany do gazów cieplarnianych, a jego uwalnianie powoduje przyspieszenie zmian klimatycznych. Składniki pokarmowe wnoszone do gleby przez nawozy mineralne mogą być również tracone w wyniku wymywania. Opady transportują je do wód powierzchniowych i gruntowych, co wpływa na eutrofizację zbiorników wodnych, rozwój glonów i niedobory tlenu, ważnego dla wszelkich form życia. Nawożenie mineralne może też wpływać na zakwaszenie, odkwaszenie lub zasolenie gleby. Zrównoważone rolnictwo stawia sobie za zadanie zmniejszenie zakłóceń w obiegu składników pokarmowych i zwiększenie efektywności wykorzystania nawozów, co ma wpływać na ochronę bioróżnorodność i gleby. Dobrze znaną alternatywą nawozów mineralnych są nawozy organiczne i naturalne, ale najnowszym trendem zrównoważonego nawożenia jest wykorzystanie nawozów biologicznych.

Rysunek 7.2 ilustruje mechanizm działania bionawozów bakteryjnych aplikowanych do gleby i na rośliny. W tabeli 7.1 zebrano w podziale na grupy funkcjonalne najważniejsze gatunki mikroorganizmów stosowane we współczesnych bionawozach.

Nawozy biologiczne (bionawozy) to substancje zawierające żywe drobnoustroje, które po zastosowaniu na nasiona, rośliny i doglebowo stymulują wzrost roślin, dostarczając niezbędnych składników pokarmowych, przede wszystkim azotu i fosforu. Mikroorganizmy stosowane jako bionawozy poprawiają też tolerancję roślin na suszę, zasolenie, inne stresy środowiskowe oraz zwiększają odporność roślin na fitopatogeny i szkodniki.

**Rysunek 7.2.** Schemat mechanizmu działania bionawozów na bazie bakterii



Źródło: opracowanie własne.

**Tabela 7.1.** Grupy bionawozów w podziale na pełnione funkcje w zakresie stymulowania wzrostu roślin oraz zaliczane do nich rodzaje/gatunki mikroorganizmów, których działanie jest opisane i które są wykorzystywane praktycznie

Grupa	Funkcja	Najważniejsze rodzaje/gatunki mikroorganizmów wchodzące w skład inokulum bionawozów
Arbuskularne grzyby mykoryzowe	Mobilizacja P	<i>Claroideoglossum etunicatum</i> , <i>Entrophosphora colombiana</i> , <i>Gigaspora rosea</i> , <i>Glomus caledonium</i> , <i>G. clarum</i> , <i>G. etunicatum</i> , <i>G. hoi</i> , <i>G. leptotichum</i> , <i>G. mosseae</i> , <i>Rhizophagus fasciculatum</i> , <i>R. irregularis</i>
Inne grzyby	Mobilizacja P Cykl żywieniowy Odporność na patogeny	<i>Actinomyces</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>A. tubingensis</i> , <i>Penicillium bilaii</i> , <i>P. brevicompactum</i> , <i>P. solitum</i> , <i>Piriformopora indica</i> , <i>Trichoderma atroviride</i> , <i>Trichoderma harzianum</i>

Grupa	Funkcja	Najważniejsze rodzaje/gatunki mikroorganizmów wchodzące w skład inokulum bionawozów
Bakterie promujące wzrost roślin	Utrwalanie N Solubilizacja* P Produkcja hormonów roślinnych	<i>Bacillus megaterium</i> , <i>B. polymixa</i> , <i>Enterobacter</i> sp.
	Produkcja hormonów roślinnych	<i>Azotobacter</i> sp., <i>Azotobacter chroococcum</i> , <i>Bacillus circulans</i> , <i>B. mycoides</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>B. simplex</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Burkholderia tropica</i> , <i>Citrobacter freundii</i> , <i>Enterobacter asburiae</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Kurthia</i> sp., <i>Mesorhizobium ciceri</i> , <i>Ochrobactrum anthropic</i> , <i>O. ciceri</i> , <i>Paenibacillus polymyxa</i> , <i>Pantoea agglomerans</i> , <i>Pseudomonas</i> sp., <i>P. putida</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>Rhizobium leguminosarum</i> , <i>Rhodobacter capsulatus</i> , <i>Rhodopseudomonas</i> sp., <i>Rhodospirillum rubrum</i> , <i>Rhodotorula glutinis</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> , <i>Variovorax paradoxus</i>
	Solubilizacja siarczanów	<i>Thiobacillus</i> sp., <i>T. thiooxidans</i>
	Solubilizacja P Produkcja hormonów roślinnych	<i>Arthrobacter chlorophenolicus</i> , <i>Bacillus firmus</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B. mucilaginosus</i> , <i>Burkholderia caryophylli</i> , <i>Enterobacter asburiae</i> , <i>Microbacterium arborescens</i> , <i>Paenibacillus</i> sp., <i>P. polymixa</i> , <i>Penicillium bilaii</i> , <i>Providencia</i> sp., <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>P. argentinensis</i> , <i>P. cepacia</i> , <i>P. chlororaphis</i> subsp. <i>aurantiaca</i> , <i>P. diminuta</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>P. fragi</i> , <i>P. jesseni</i> , <i>P. marginalis</i> , <i>P. paleroniana</i> , <i>P. putida</i> , <i>P. striata</i> , <i>P. syringae</i> , <i>P. tolasii</i> , <i>Serratia marcescens</i> , <i>Staphylococcus saprophyticus</i>
	Solubilizacja K	<i>Acidithiobacillus</i> sp., <i>Bacillus edaphicus</i> , <i>B. mucilaginosus</i> , <i>Burkholderia</i> sp., <i>Ferrooxidans</i> sp., <i>Paenibacillus</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp.,
	Produkcja sideroforów	<i>Pseudomonas</i> sp.
	Produkcja egzopolisacharydów	<i>Agrobacterium</i> sp., <i>Azotobacter vinelandii</i> , <i>Bacillus drentensis</i> , <i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Rhizobium</i> sp., <i>R. leguminosarum</i> , <i>Xanthomonas</i> sp.
	Neutralizacja stresów środowiskowych	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>P. putida</i>
	Inhibicja fitopatogenów	<i>Bacillus</i> spp. <i>B. amyloliquefaciens</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>Paenibacillus polymyxa</i> , <i>Pseudomonas</i> sp., <i>P. cepacia</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>P. gladioli</i> , <i>P. putida</i> , <i>Serratia marcescens</i>



Grupa	Funkcja	Najważniejsze rodzaje/gatunki mikroorganizmów wchodzące w skład inokulum bionawozów
Bakterie wiążące azot atmosferyczny	Wolno żyjące diazotrofy* Utrwalanie N Produkcja hormonów roślinnych	<i>Anabaena cylindrica</i> , <i>A. oscillaroides</i> , <i>A. variabilis</i> , <i>Aulosira fertilissima</i> , <i>Aphanothece</i> sp., <i>Azotobacter chroococum</i> , <i>A. brasilense</i> , <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Beijerinckia indica</i> , <i>Brevundimonas diminuta</i> , <i>Calothrix</i> sp., <i>Gloeotrichia</i> sp., <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Nostoc</i> sp., <i>N. muscorum</i> , <i>Tolypothrix tenuis</i> ,
	Symbiotyzujące diazotrofy Utrwalanie N Produkcja hormonów roślinnych	<i>Azospirillum brasilense</i> , <i>A. lipoferum</i>

\* solubilizacja – proces zwiększania rozpuszczalności substancji za pomocą tzw. pośredników rozpuszczania, czyli solubilizatorów; diazotrofia – przyswajanie przy użyciu enzymu nitrogenazy azotu cząsteczkowego (N<sub>2</sub>) występującego w atmosferze

Źródło: opracowanie na podstawie: Gouda i in. 2018, Schütz i in. 2018.

Występujące obecnie na rynku bionawozy należą do trzech głównych grup:

- arbuskularnych grzybów mykoryzowych lub innych grzybów,
- bakterii promujących wzrost roślin (*plant growth promoting bacteria* – PGPB),
- bakterii wiążących azot atmosferyczny.

Wszystkie grupy bionawozów obecne w ryzosferze roślin poprawiają wydajność pobierania azotu. Ponadto mikroorganizmy stanowiące inokulum bionawozów:

- stymulują rozrost korzeni, szczególnie poprzez zwiększanie liczby włóśników, co stanowi o dużej powierzchni całkowitej systemu pobierającego składniki pokarmowe z gleby oraz poprzez obniżenie poziomu etylenu niekorzystnie wpływającego na ukorzenianie roślin dzięki deaminazie ACC degradującej prekursor biosyntezy etylenu,
- pobudzają system korzeniowy roślin do pobierania jonów,
- produkują substancje regulujące wzrost roślin, fitohormony (gibereliny, auksyny, w tym kwas indoliloctowy, cytokininy),
- indukują odporność systemiczną roślin (ISR),
- ograniczają rozwój fitopatogenów najczęściej poprzez antybiozę,
- produkują bakteriocyn, siderofory, egzopolisacharydy,
- mineralizują fosfor organiczny,
- wpływają na ryzoremediację,
- produkują fitoaleksyny i flawonoidy, czyli związki poprawiające absorpcję minerałów.

Obecnie najbardziej obiecującą grupą wydają się PGPB, do których zaliczają się przede wszystkim liczne szczepy bakterii z rodzajów *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paenibacillus* i *Rhizobium* (Pérez-Montaño i in. 2014, Gouda i in. 2018, Schütz i in. 2018).

Bakterie promujące wzrost roślin (PGPB) to bakterie wolno żyjące, które aktywnie kolonizują korzenie roślin. PGPB poprzez własny metabolizm stymulują wzrost roślin w środowisku glebowym (rozpuszczają fosforany, wytwarzają hormony lub utrwalają azot), bądź też bezpośrednio wpływają na metabolizm roślin, zwiększając wchłanianie wody i substancji pokarmowych, poprawiając rozwój korzeni, zwiększając aktywność enzymatyczną roślin lub stymulując inne pożyteczne mikroorganizmy, przez co poprawiają ich działanie na rośliny.

L. Schütz i in. (2018) przeprowadzili metaanalizę danych naukowych wykorzystania bionawozów. Najważniejsze wnioski przedstawione w ich pracy są następujące:

- bionawozy charakteryzuje największa skuteczność w klimacie suchym (zwyżka plonu w klimacie suchym wynosi ok. 20%, w tropikalnym ok. 15%, oceanicznym 10%, a klimacie kontynentalnym jedynie 8%);
- reakcja plonu na bionawozy jest niewielka przy niskich poziomach fosforu w glebie;
- przy wyższych poziomach zawartości fosforu największą skuteczność notuje się dla bionawozów zawierających arbuskularne grzyby mykoryzowe, mniejszą dla grupy mikroorganizmów solubilizujących fosfor i utrwalających azot;
- sukces inokulacji arbuskularnymi grzybami mykoryzowymi jest większy przy niskiej zawartości materii organicznej i przy neutralnym pH.

Przeprowadzona analiza dowodzi, że dobór i skuteczność bionawozów są zależne od warunków klimatyczno-glebowych. Autorzy pracy wskazują na wielkie korzyści stosowania bionawozów: średni wzrost poziomu plonowania najważniejszych upraw, takich jak bobowate, warzywa, zboża, rośliny korzeniowe oraz inne o ok. 16% w porównaniu z uprawami niepodlegającymi inokulacji oraz poprawa efektywności pobierania fosforu i azotu. Najefektywniej na bionawozy reagują rośliny bobowate, a najslabiej rośliny korzeniowe. Badania naukowe i praktyka potwierdzają, że bionawozy stanowią realną alternatywę nawożenia mineralnego – są wysoce skuteczne, przy czym bezpieczne dla środowiska.

Bionawozy, a szczególnie PGPB mogą też być użyteczne w bioremediacji, w tym zdegradowanej gleby i zeutrofizowanych wód, oraz mogą wpływać na mniejsze zużycie pestycydów.

W przyszłości nowe, stale ulepszone bionawozy będą podstawą zrównoważonego rolnictwa. Ich stosowanie będzie wpływało na poprawę żyzności gleby, tolerancji roślin na stesy, wydajności upraw oraz na utrzymywanie zrównoważonego obiegu składników pokarmowych. Dalsze badania nad doborem odpowiednich mikroorganizmów endofitycznych lub ryzosferowych i wytwarzaniem specjalistycznych, scharakteryzowanych konsorcjów wraz z badaniami multidyscyplinarnymi, łączącymi biotechnologię, nanotechnologię, agronomię, inżynierię chemiczną i materiałoznawstwo oraz aspekty ekologiczno-środowiskowe, mogą dostarczyć nowych technologii o ogromnej wartości i potencjale (Gouda i in. 2018).

### 7.3. Biostymulatory

Wychwycenie różnicy pomiędzy nawozami biologicznymi czy biopestycydami a biostymulatorami jest dość trudne. Definiując biostymulatory, P. du Jardin (2015) podkreślił, że powinny one poprawiać stan fizjologiczny roślin niezależnie od ilości dostarczanych im składników pokarmowych. Inne źródła podkreślają, że dawki biostymulatorów są zazwyczaj znacznie mniejsze niż bionawozów i biopestycydów i ta mała ilość ma wpływać wyraźnie na spodziewane, pozytywne efekty w uprawie. W przypadku produktów komercyjnych uznaje się, że deklarowany przez producenta efekt rolniczy powinien mieć zasadnicze znaczenie dla kategoryzacji (biostymulator, bionawóz, biopestycyd) i związanych z tym regulacji dotyczących produkcji i obrotu.

Biostymulatory roślin to dowolna substancja lub mikroorganizmy stosowane w uprawie w celu poprawy wykorzystania składników pokarmowych, zwiększenia tolerancji roślin na stesy abiotyczne i (lub) w celu poprawy cech jakościowych roślin niezależnie od zastosowanego nawożenia. Biostymulatory roślin to produkty handlowe zawierające pojedyncze substancje lub mikroorganizmy, jak też mieszaniny takich substancji i (lub) mikroorganizmów (du Jardin 2015).

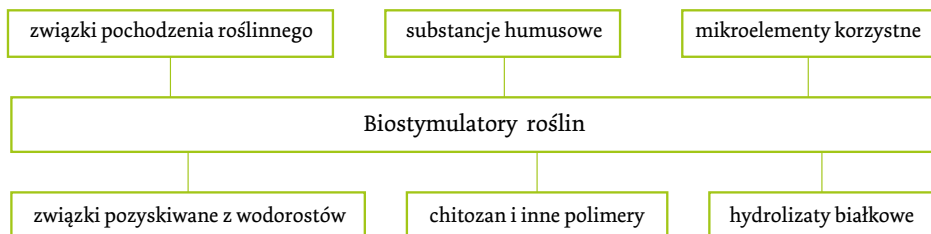
Do biostymulatorów zaliczane są często bakterie promujące wzrost roślin, arbuskularne grzyby mykoryzowe i diazotrofy – te grupy zostały omówione w rozdziale o bionawozach. Pozostałe najważniejsze rodzaje biostymulatorów to (du Jardin 2015):

- kwasy huminowe i fulwowe,
- hydrolizaty białkowe, aminokwasy i inne związki zawierające azot,
- ekstrakty z wodorostów,

- substancje pochodzenia roślinnego,
- chitozan i inne biopolimery,
- substancje nieorganiczne, tzw. mikroelementy korzystne,
- fitohormony (auksyny, gibereliny).

Podział biostymulatorów przedstawia rysunek 7.3.

**Rysunek 7.3.** Podział biostymulatorów



Źródło: opracowanie własne na podstawie: du Jardin 2015.

### (1) Substancje humusowe

Kwasy humusowe (huminowe i fulwowe) są naturalnymi składnikami materii organicznej gleby. Powstają one z rozkładu martwych organizmów poprzez aktywność metaboliczną drobnoustrojów glebowych wykorzystujących je jako substraty. Stanowią mieszaniny wielkocząsteczkowych związków organicznych o zmiennym składzie (w zależności od składu materii organicznej, z której powstają). Związki te wykazują również złożoną dynamikę asocjacji bądź dysocjacji na koloidy ponadcząsteczkowe, na co wpływają korzenie roślin poprzez uwalnianie protonów i wydzielin własnych. Substancje humusowe i ich kompleksy w glebie są więc wynikiem wzajemnej skomplikowanej zależności między materią organiczną, mikroorganizmami i korzeniami roślin. W praktyce optymalizacja tych interakcji powoduje osiągnięcie oczekiwanych wyników, tj. biostymulację wzrostu roślin. Nie są to proste zagadnienia, a ich rozpoznanie dopiero trwa, ale przeprowadzona przez M.T. Rose i in. (2014) metaanaliza efektów stosowania kwasów humusowych wykazała bardzo pozytywne wyniki, np. ogólny wzrost suchej masy roślin o ponad 20%.

Substancje humusowe uznawane są za istotny czynnik wpływający na żyzność gleby i działają kompleksowo na fizyczne, fizyko-chemiczne, chemiczne i biologiczne jej właściwości. W tym przypadku mechanizmy odpowiedzialne za stymulowanie wzrostu roślin to (du Jardin 2015):

- poprzez zwiększoną zdolność wymiany kationowej większe wchłanianie makro- i mikroelementów;
- zwiększona biodostępność fosforu;
- stymulowanie komórek roślinnych;
- zwiększona aktywność oddychania i inwertazy;
- pozytywne efekty hormonalne u roślin i mikroorganizmów;
- produkcja związków fenolowych, zaangażowanych w metabolizm wtórny i szeroki zakres reakcji stresowych roślin;
- zwiększona aktywność kluczowych enzymów.

## (2) Hydrolizaty białkowe

Hydrolizaty białkowe, np. mieszaniny aminokwasów, takich jak prolina, i peptydów otrzymuje się przez chemiczną i enzymatyczną hydrolizę białek z produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego, zarówno ze źródeł roślinnych (pozostałości roślin), jak i odpadów zwierzęcych (du Jardin 2015, Halpern i in. 2015). Inne związki azotowe stosowane jako biostymulatory roślin to betainy (w tym betaina glicyny), poliaminy i „aminokwasy niebiałkowe”. Bezpośrednie oddziaływanie na rośliny tych związków obejmuje:

- modulację wychwytu i asymilacji azotu;
- regulację enzymów zaangażowanych w asymilację azotu i ich genów strukturalnych;
- działanie na szlak sygnalizacji akwizycji azotu w korzeniach.

Związki te regulują metabolizm węgla i azotu, mają aktywność hormonalną; właściwości chelatujące (wychwyt metali ciężkich lub wpływ na mobilności i pobieranie mikroelementów) oraz wykazują aktywność przeciwutleniającą, co przyczynia się do łagodzenia stresu środowiskowego (du Jardin 2015).

Hydrolizaty białkowe pochodzenia roślinnego i zwierzęcego są już obecne na rynku jako biostymulatory roślin. Ich bezpieczeństwo w zakresie genotoksyczności, ekotoksyczności lub fitotoksyczności jest potwierdzone. Niemniej uzasadnione obawy budzi stosowanie odzwierzęcych hydrolizatów białkowych, przez co UE zakazała ich stosowania w uprawach ekologicznych do bezpośredniego spożycia (Rozporządzenie Komisji UE nr 354/2014).

## (3) Związki pozyskiwane z wodorostów

Wodorosty już w starożytności stosowano jako nawóz, ale ich działanie stymulujące wzrost roślin zostało dopiero niedawno potwierdzone. Komercjalizacja ekstraktów z wodorostów i związków z nich pozyskiwanych (laminariny,

alginianiny i karageniny oraz produkty ich rozpadu; mikro- i makroskładniki, sterole, związki zawierające azot, betainy, hormony) stale postępuje. Glony najczęściej wykorzystywane do produkcji biostymulatorów to algi brunatne – z rodzaju *Ascophyllum*, *Fucus*, *Laminaria*, oraz czerwone wodorosty morskie służące do produkcji karageniny (du Jardin 2015).

Glony można stosować doglebowo, w hydroponice lub dolistnie. W glebach tworzą one żele zatrzymujące wodę o właściwościach napowietrzających. Glony bardzo pozytywnie działają na mikrobiom gleby, a dla roślin stanowią wartościowy nawóz, ale to przede wszystkim ich działanie na poziomie hormonalnym zostało ocenione jako główna przyczyna stymulowania wzrostu roślin. W ekstraktach z wodorostów są obecne podstawowe hormony wzrostu roślin, takie jak: cytokininy, auksyny, kwas abscysynowy, gibereliny i inne klasy związków podobnych do hormonów, takie jak: sterole i poliamidy, przy czym badania naukowe wykazały, że stymulacja roślin w większym stopniu wynika z regulacji genów odpowiedzialnych za biosyntezę hormonów niż z obecności samych fitohormonów (du Jardin 2015).

#### (4) Związki pochodzenia roślinnego

Bardzo słabo rozpoznaną grupą biostymulatorów są związki pochodzenia roślinnego. Ich potencjał wykorzystywany jest przede wszystkim w ochronie roślin przed agrofagami (biopestycydy), ale dobrze już zbadane i wykorzystywane w praktyce działanie allelopatyczne roślin może stanowić przyczynek do pozyskiwania cennych allelochemikaliów wykorzystywanych jako biostymulatory roślin.

#### (5) Chitozan i inne polimery

Chitozan, kolejny związek uważany obecnie za efektywny biostymulator wzrostu roślin, to deacetylowana forma biopolimeru chityny. Związek ten może powstawać naturalnie (ściana komórkowa niektórych grzybów, kutikula stawonogów) lub może być produkowany przemysłowo. Poli- i oligomery o zmiennych, kontrolowanych rozmiarach są już dość powszechnie stosowane w przemyśle spożywczym, kosmetycznym, produktach medycznych i oczywiście rolnictwie. Fizjologiczne działanie oligomerów chitozanu w roślinach jest wynikiem zdolności tego związku polikationowego do wiązania szerokiego zakresu składników komórkowych. Wykazano między innymi, że w wyniku wiązania chitozanu do mniej lub bardziej specyficznych receptorów komórkowych następuje akumulacja nadtlenu wodoru i wyciek  $\text{Ca}^{2+}$ , które powodują zmiany fizjologiczne, ponieważ stanowią kluczowe czynniki w sygnalizowaniu stresów. Stosowanie

chitozanu w rolnictwie koncentruje się na ochronie roślin przed patogenami grzybowymi. Chitozan jest jednym z najbardziej znanych elicytorów (substancji indukujących odpowiedź obronną rośliny na stres biotyczny lub abiotyczny). Inne zastosowania rolnicze to właśnie biostymulacja tolerancji na stresy abiotyczne (susza, zasolenie, niskie temperatury) oraz biostymulacja cech jakościowych wynikających z metabolizmu (Hadwiger 2013, Katiyar i in. 2015).

## (6) Mikroelementy korzystne

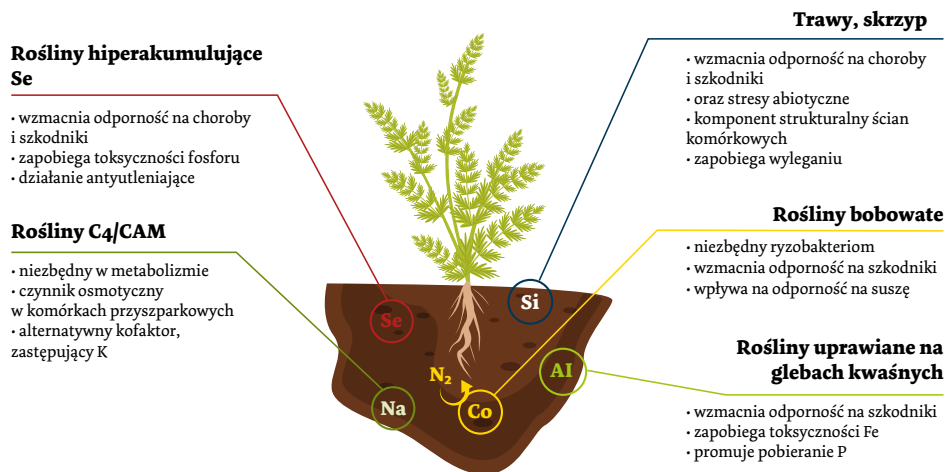
Wszystkie organizmy wymagają puli pierwiastków do prawidłowego wzrostu i rozwoju. Spośród 92 znanych na Ziemi pierwiastków 17 uznano za niezbędne dla wszystkich roślin, są to makro- i mikroelementy. Makroskładniki obejmują C, H, O, Ca, K, Mg, N, S i P, a wśród nich C, H i O stanowią ok. 95% suchej masy roślin. Pozostałe pierwiastki występują w suchej masie roślin w ilościach mniejszych niż 1000 mg kg<sup>-1</sup>. Mikroelementy, inaczej tzw. pierwiastki śladowe, to Cl, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni i Zn. One stanowią mniej niż 100 mg kg<sup>-1</sup> suchej masy roślin. Występuje też grupa pierwiastków uznawanych za promujące wzrost niektórych gatunków roślin. Ważną ich cechą jest to, że nie są one wymagane do wzrostu przez wszystkie rośliny. Takie pierwiastki nazywane są mikroelementami korzystnymi. Al, Co, Na, Se i Si – to pięć najważniejszych tzw. mikroelementów korzystnych dla wzrostu wybranych gatunków roślin. Stymulują one rośliny jedynie w pewnych, konkretnych warunkach środowiskowych, a ich funkcja, jak też zapotrzebowanie na nie jest zróżnicowane. Stymulacja roślin wymagająca wyższego stężenia danego mikroelementu korzystnego świadczy o roli strukturalnej lub osmotycznej pierwiastka. Wymóg niskiego stężenia wskazuje na rolę pierwiastka jako kofaktora enzymów. Niektóre mikroelementy korzystnie wpływają na odporność na stres abiotyczny lub interakcje roślin z agrofagami lub symbiontami (Pilon-Smits i in. 2009).

Rysunek 7.4 przedstawia podsumowanie obecnej wiedzy na temat korzystnego wpływu Al (aluminium), Co (kobaltu), Na (sodu), Se (selenu) i Si (krzemu) na rośliny.

P. du Jardin (2015) stawia tezę, że bioaktywność niektórych złożonych biostymulatorów roślin, np. ekstraktów z wodorostów morskich, resztek poźniowych lub odpadów zwierzęcych, wynika właśnie z funkcji fizjologicznych zawartych w nich korzystnych mikroelementów.

Niestety, pomimo wielu wysiłków na rzecz wyjaśnienia statusu wszystkich typów biostymulatorów na rynku, w Europie i Stanach Zjednoczonych nie ma jeszcze ich prawnej definicji ani żadnych regulacji, co zasadniczo ogranicza skuteczną komercjalizację tych środków produkcji.

### Rysunek 7.4. Wpływ tzw. mikroelementów korzystnych na rośliny



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pilon-Smits i in. 2009.

## 7.4. Biologiczne środki ochrony roślin

Obecnie spośród bioproduktów wykorzystywanych w rolnictwie biologiczne środki ochrony roślin można ocenić jako grupę charakteryzującą się największym potencjałem i w największym stopniu skomercjalizowaną. Ich podział prezentuje rysunek 7.5. Do biologicznych środków ochrony roślin zalicza się dwie główne grupy, tj. biopestycydy i makroorganizmy. Biochemikalia i mikroorganizmy stanowią główne grupy biopestycydów.

### Rysunek 7.5. Główne grupy biologicznych środków ochrony roślin wykorzystywanych w rolnictwie



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Dunham 2017.



## (1) Biopestycydy

Ochrona biologiczna upraw roślin może polegać na protekcji organizmów pożytecznych w środowisku lub stosowaniu celowym związków lub organizmów do zwalczania agrofaga. W angielskojęzycznej literaturze naukowej powszechnie już przyjęto, że masowa hodowla wrogów naturalnych, w celu ich uwolnienia w dużych ilościach dla uzyskania szybkiego zwalczania agrofagów w uprawach o krótkim cyklu produkcyjnym („szczepienie sezonowe”) lub w celu długotrwałej regulacji agrofaga w uprawach wieloletnich, to „wzmacniająca” ochrona biologiczna (w skrócie ABC – *augmentative biological control*). Bardziej odpowiednim określeniem tego rodzaju technik biologicznej ochrony w języku polskim jest raczej interwencyjna biologiczna ochrona roślin. Niewątpliwie jednak w tej strategii korzysta się z biologicznych środków ochrony roślin, do których w praktyce, szczególnie polowej, zalicza się przede wszystkim biopestycydy.

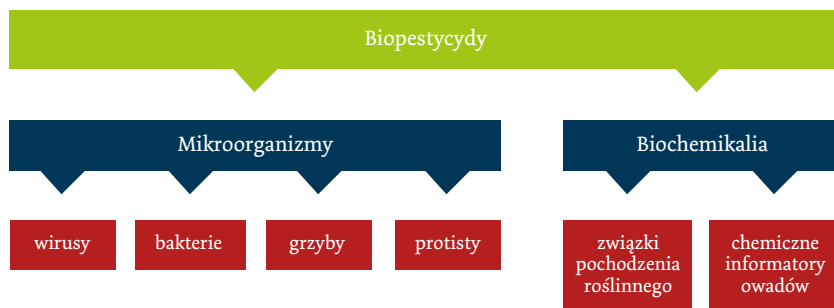
W Europie biopestycydy definiuje się jako mikrobiologiczne lub naturalne środki ochrony roślin, które skutecznie mogą zastąpić syntetyczne środki chemiczne, przy czym charakteryzuje je minimalny wpływ na środowisko. Definicja amerykańska jest szersza. Do biopestycydów zaliczono też rośliny modyfikowane genetycznie (GMO), które „zwalczają agrofagi”, co w krajach europejskich budzi wiele kontrowersji i nie zostało zaakceptowane.

Podobnie jak w przypadku konwencjonalnych pestycydów, wyróżnia się następujące podstawowe grupy biopestycydów:

- bioinsektycydy, wykorzystywane do zwalczania owadów uszkadzających rośliny, zawierające mikroorganizmy lub związki entomopatogenne, czyli owadobójcze (przykład: owadobójcza bakteria *Bacillus thuringiensis*);
- bioakarycydy, wykorzystywane do zwalczania roztoczy uszkadzających rośliny (przykład: drapieżny roztocz dobroczynek szklarniowy *Phytoseiulus persimilis*);
- bionematocydy, wykorzystywane do zwalczania nicieni fitofagicznych (przykład: bakteria *Bacillus firmus*);
- biofungicydy, wykorzystywane do zwalczania grzybów powodujących choroby roślin (przykład: grzyby antagonistyczne z rodzaju *Trichoderma*);
- bioherbicydy, wykorzystywane do zwalczania chwastów (przykład: związek pochodzenia roślinnego sarmentyna);
- biobakteriocydy, wykorzystywane do zwalczania bakterii powodujących choroby roślin (przykład: lipopeptydy wytwarzane przez bakterię *Bacillus subtilis*);
- biowirusocydy, do zwalczania wirusów powodujących choroby roślin (przykład: tzw. słaby szczep wirusa żółtej mozaiki cukinii ZYMV – WK).

Rysunek 7.6 przedstawia obowiązujący obecnie podział biopestycydów.

**Rysunek 7.6.** Podział biopestycydów



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Dunham 2017.

W tabeli 7.2 przedstawiono najważniejsze różnice występujące pomiędzy biopestycydami i konwencjonalnymi chemicznymi środkami ochrony roślin w zakresie praktycznego opracowania i wykorzystania danych grup w uprawie roślin.

**Tabela 7.2.** Porównanie komercjalizacji i wybranych cech biopestycydów i konwencjonalnych chemicznych środków ochrony roślin

Cecha	Pestycydy chemiczne	Biopestycydy
Przybliżona liczba substancji aktywnych występująca w grupie	>3,5 mln	3 tys.
Współczynnik sukcesu komercjalizacji (substancja skomercjalizowana: substancje badane w celu komercjalizacji)	1:200000	1:20
Przybliżony koszt opracowania środka ochrony (substancja aktywna + formułacja)	180 mln USD	2 mln USD
Czas opracowania środka komercyjnego	10 lat	10 lat
Zysk na jednostkę zainwestowanych pieniędzy	2,5–5	30
Ryzyko uodpornienia się agrofaga	duże	brak/małe
Selektywność względem agrofaga	mała	duża
Szkodliwe skutki uboczne	wiele	brak/niewielkie

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Bale i in. 2007.

Pomimo wielu korzystniejszych cech, jakie charakteryzują biopestycydy, liczba oraz różnorodność oraz skuteczność i koszt produkcji zarejestrowanych

już pestycydów chemicznych nadal decydują, że ich rola na rynku środków ochrony roślin jest dominująca.

### (1) Mikroorganizmy

Wyłączając GMO, w globalnym rynku biopestycydów dominują środki produkowane na bazie bakterii, grzybów i wirusów, które w skrócie można określić jako biologiczne środki ochrony roślin na bazie mikroorganizmów (biopestycydy mikrobiologiczne). Do mikroorganizmów zalicza się tutaj wirusy, chociaż nie są one organizmami żywymi. Pestycydy mikrobiologiczne cechuje kilka zalet – wysoka selektywność względem agrofagów, mała toksyczność lub całkowity jej brak względem organizmów pożytecznych oraz brak większych zagrożeń dla zdrowia ludzi i zwierząt kręgowych. Substancją aktywną takich pestycydów są formy przetrwalne (np. zarodniki) lub całe żywe organizmy patogenne względem agrofagów, mogą nimi być mikroorganizmy, tzw. naturalne lub modyfikowane genetycznie. Biopestycydy mikrobiologiczne najczęściej działają na agrofagi poprzez: toksyczne oddziaływanie metabolitów powodujące chorobę lub śmierć agrofaga, odstraszenie, wywoływanie zjawiska konkurencji o środowisko oraz antagonizm. Ich aplikacja nie różni się od stosowanej w wypadku pestycydów chemicznych, tzn. można je stosować jako zaprawy, dogłębowo lub w okresie wegetacji na rośliny. Mogą być używane w uprawach polowych i pod osłonami.

Wirusy zalicza się sztucznie do mikroorganizmów, ponieważ nie mają podstawowych cech życia i należy je traktować jako skomplikowane cząsteczki organiczne. Obowiązująca współcześnie definicja wirusów określa je jako zakaźny, potencjalnie patogenny nukleoproteid, istniejący tylko pod postacią jednego kwasu nukleinowego (DNA lub RNA), który reprodukuje materiał genetyczny. Wirusy są niezdolne do podziałów poza komórką żywiciela i zazwyczaj nie mają enzymów, przez co nie wykazują metabolizmu. Jednak wirusy mają cechy organizmów żywych, takie jak złożona budowa chemiczna, zdolność do reprodukcji i ewolucji. Ponieważ wirusy wykazują całkowitą zależność od organizmów żywych, stanowią jedną z podstawowych grup ich patogenów. Mogą wywoływać choroby, a często śmierć praktycznie wszystkich organizmów obecnych na kuli ziemskiej – mikroorganizmów, roślin i zwierząt oraz ludzi. Wszystkie cząsteczki wirusów zawierają kwasy nukleinowe odpowiedzialne za replikację, które otacza białkowy kapsyd odgrywający ważną rolę w procesie infekcji. Gdy wirus znajdzie się w komórce żywiciela, jego kwas nukleinowy przejmuje kontrolę nad układem metabolicznym komórki i rozpoczyna się replikacja cząstek wirusa prowadząca do śmierci komórki. Wszystkie bez wyjątku wirusy zalicza się do bezwzględnych patogenów obligatoryjnych – ich replikacja nie jest możliwa bez komórek organizmu żywicielskiego, np. na podłożach syntetycznych. Wyróżnia

się wiele grup wirusów, które pomimo prostej, zbliżonej budowy wykazują odrębne cechy w zakresie budowy, genomu, patogenności i spektrum żywicielskiego. Sam proces infekcji wirusowej może być w pewnym stopniu zróżnicowany dla poszczególnych grup.

Obecnie za cechy taksonomiczne wirusów uważa się ich budowę, rozmiar i kształt kapsydu, rodzaj kwasu nukleinowego i cechy dotyczące procesu infekcji. Międzynarodowy Komitet ds. Taksonomii Wirusów (International Committee on Taxonomy of Viruses – ICTV) dokonuje klasyfikacji do rzędów, rodzin, rodzajów i gatunków. W 2017 r. Komitet zatwierdził w 9 rzędach (*Caudovirales*, *Herpesvirales*, *Ligamenvirales*, *Mononegavirales*, *Nidovirales*, *Ortervirales*, *Picornavirales*, *Bunyavirales* i *Tymovirales*) 131 rodzin, 46 podrodzin, 803 rodzaje i 4853 tzw. gatunki wirusów. Wyodrębniono też 86 rodzin nieklasyfikowanych do rzędu ([https://talk.ictvonline.org/taxonomy/p/taxonomy\\_releases](https://talk.ictvonline.org/taxonomy/p/taxonomy_releases), dostęp: 16.05.2019).

W naturalnych populacjach owadów stwierdza się stosunkowo dużą różnorodność wirusów. Są to asowirusy, bakulowirusy, cypowirusy, entomopoksywirusy, irydowirusy i polidowirusy. Nieliczne z nich już są lub mogą być w przyszłości substancją aktywną biopestycydów. Należy jednak podkreślić, że rola wirusów entomopatogennych w globalnej ochronie upraw znacząco wzrosła dopiero w ostatniej dekadzie. Wirusy zdają się wychodzić z roli produktów niszo- wych do czołowych substancji występujących w komercyjnych biopestycydach (Lacey i in. 2015). Większość skomercjalizowanych biopestycydów oraz badań dotyczy bakulowirusów (wirusy z rodziny *Baculoviridae*). Szczególne znaczenie mają specyficzne dla motyli bakulowirusy jądrowej poliedrozy (*Alphabaculovirus* spp.) i granulozy (*Betabaculovirus* spp.) (Moscardi i in. 2011).

Bakulowirusy są dużymi wirusami, zawierającymi dwuniciowy kolistą kwas deoksyrybonukleinowy (DNA) upakowany w białkowe pałeczkokształtne kapsydy, tworzące się głównie w jądrach komórek gospodarza. Kapsydy wtopione są w matriks białkowych cząstek (okluzji) zwanych ciałami wtrętowymi. To białkowe matriks, zwane poliedryną u wirusów jądrowej poliedrozy (NPV), a granulina u wirusów granulozy (GV), chroni je przed niekorzystnymi czynnikami środowiska i umożliwia przetrwanie poza organizmem gospodarza (Harrison i Hoover 2012). Występująca u bakulowirusów okluzja jest też jedną z przyczyn wysokiego poziomu ich komercjalizacji, gdyż ułatwia formułację, stosowanie i długoterminowe przechowywanie w laboratorium. W celu oznaczeń ilościowych okluzje można obserwować mikroskopem świetlnym z kontrastem fazowym, a nie jak w przypadku innych wirusów – drogimi mikroskopami elektronowymi (Gywnn 2014). Ponadto bakulowirusy są patogenami ważnych gospodarczo szkodników np. błyszczek, słonecznic i sówek, które oceniane są jako szybko nabierające odporności na konwencjonalne, chemiczne pestycydy.

Gąsienice tych rodzajów to rozpowszechnione na świecie szkodniki wielu upraw polowych i pod osłonami oraz lasów.

Globalnie biologicznym środkiem ochrony roślin produkowanym i zużywanym na największą skalę są biopestycydy z wirusem granulozy (GV) owocówki jabłkówekczki – *Cydia pomonella* (Lacey i in. 2008).

Drugą ważną grupą wirusów owadzych jest należący do rodziny *Rheoviridae* rodzaj *Cypovirus*. Wirusy te wywołują poliedrozę cytoplazmatyczną u ponad 250 gatunków owadów (motyli, muchówek i błonkówek). Są to wirusy RNA o wymiarach okluzji 0,1–10 µm. Pojedynczy kapsyd ma kulisty kształt o średnicy 60–70 nm. Ich znaczenie praktyczne jest jednak znikome.

Najnowszą i bardzo ciekawą grupą biopestycydów są środki na bazie bakteriofagów. Zwalczanie chorób powodowanych przez bakterie od lat stwarza wiele problemów w różnych dziedzinach ludzkiego życia. W uprawach roślin nie można stosować antybiotyków, a wiele szczepów bakterii chorobotwórczych wykazuje oporność na wszelkie środki biobójcze. Obecnie bada się i stopniowo komercjalizuje wirusy będące fagami bakterii, które w sposób bezpieczny dla innych organizmów (bardzo wąska specjalizacja) szybko niszczą bakterie. Z nielicznych jeszcze, ale bardzo skutecznych bakteriofagów korzysta się w przemyśle spożywczym, weterynarii i uprawach roślin, zwalczając groźne dla ludzi, zwierząt lub roślin bakterie. Problem z biologiczną ochroną z wykorzystaniem bakteriofagów polega na tym, że mieszaniny wirusów, tzw. koktajle fagowe, muszą być stale aktualizowane, aby skutecznie dokonywać lizy szybko mutujących bakterii. Przeciwdziała to również rozwojowi oporności bakterii na fagi podczas ich stosowania. Obecnie zgodnie z przepisami Unii Europejskiej (1107/2009 WE) każda zmiana jednego z elementów koktajlu fagowego podlega ponownej rejestracji, co wymaga czasu i stanowi duży koszt dla producentów.

Niektóre wirusy typowane są jako potencjalne bioherbicydy. Przykłady wirusów, które zostały zbadane pod kątem możliwości zwalczania gatunków roślin inwazyjnych lub niepożądanych, stanowi Tobacco Mild Green Mosaic Tobamovirus (TMGMT) zwalczający psiankę z gatunku *Solanum viarum* oraz Araujia Mosaic Virus (AMV) patogen *Araujia hortorum*. Tobacco Rattle Virus (TRV) został rozpoznany jako potencjalny czynnik zwalczania niecierpka gruczołowatego *Impatiens glandulifera*, inwazyjnego chwastu w Europie Środkowej i Zachodniej, a Óbuda Pepper Virus (ObPV) i Pepino Mosaic Virus (PepMV) mają potencjał w zwalczaniu psianki czarnej *Solanum nigrum*. Dotychczas jednak nie skomercjalizowano bioherbicydu na bazie wirusa (Harding i Raizada 2015).

Bakterie to mikroorganizmy zaliczane do *Prokariota* (organizmów jednokomórkowych, których materiał genetyczny to DNA bez błony jądrowej). Budowa komórki bakteryjnej jest prosta – w otoczonej ścianą i błoną komórkową cytoplazmie znajdują się rybosomy, plazmidy i nukleoid w postaci kolistego DNA.

W biopestycydach mikrobiologicznych stosowane są między innymi bakterie patogenne względem owadów. Ogólnie bakterie oceniane są jako mikroorganizmy o największej użyteczności w biologicznym zwalczaniu szkodliwych stawonogów. Bakterie wnikają do ciała owada przez otwór gębowy, oskórek bądź tchawki. Wyróżnia się bakterie:

- obligatoryjne (przystosowane do jednego, a najwyżej kilku bliskich taksonomicznie żywicieli),
- fakultatywne (wytwarzają enzymy, dzięki którym rozkładają ciało gospodarza),
- potencjalne (dostają się do jamy ciała, tam się rozmnażają i zabijają owada).

Praktycznie wykorzystuje się dwie pierwsze grupy, a przede wszystkim bakterie fakultatywne, do których zalicza się najważniejszy w biologicznej ochronie roślin rodzaj *Bacillus*.

Obecnie ok. 70% rynku wszystkich skomercjalizowanych biopestycydów opiera się na szczepach tylko jednego gatunku bakterii, tj. laseczki turyńskiej *Bacillus thuringiensis* (Bt), a wśród wszystkich biopestycydów mikrobiologicznych stanowią one aż 98%.

Bt to chemoorganoheterotroficzne bakterie Gram-dodatnie wytwarzające endospory (zarodniki przetrwalne). Ze środowiska izoluje się je powszechnie z gleby, wody, martwych owadów i roślin. Podstawową przyczyną tak powszechnego wykorzystania Bt jest łączenie zalet pestycydów chemicznych i mikrobiologicznych. Biopestycydy z Bt, podobnie jak pestycydy chemiczne, działają szybko, są łatwe i tanie w produkcji oraz formulacji, mają długi okres trwałości i można je stosować za pomocą konwencjonalnego sprzętu do zabiegów ochrony roślin. W przeciwieństwie do chemicznych pestycydów o szerokim spektrum działania toksyny Bt są selektywne, a ich negatywny wpływ na środowisko jest bardzo ograniczony. Ponadto, jak w przypadku większości biopestycydów, nie występuje dla nich okres karencji i prewencji (Birch i in. 2011).

Bioinsektycydy zawierające bakterie działają na układ pokarmowy owada, a ich patogenność uwarunkowana jest działaniem krystalicznych toksyn Cry i Cyt. Upraszczając, Bt powoduje rozluźnienie struktury i perforację jelita owada. Białka krystaliczne prowadzą do paraliżu układu pokarmowego bądź paraliżu ogólnego, a wtedy owad zaprzestaje żerować i zamiera. Bt zaburzą też działanie układu nerwowego owadów poprzez zmiany w gospodarce jonowej. Wykazano też, że niektóre szkodniki odporne na działanie krystalicznych toksyn reagują na tzw. białka VIP (*vegetative insecticidal proteins*) Bt wytwarzane podczas wegetatywnej fazy wzrostu bakterii. Innym czynnikiem owadobójczym

u Bt jest egzotoksyna będąca analogiem ATP, hamująca działanie polimerazy RNA zależnej od DNA. Okazała się ona toksyczna również w stosunku do kręgowców, dlatego szczepy służące do produkcji biopestycydów nie mogą wykazywać zdolności jej syntezy, w praktyce są to najczęściej szczepy *B. thuringiensis* subsp. *thuringiensis* a szczególnie *B. thuringiensis* subsp. *darmstadtensis*. Czynnikiem entomopatogennym u Bt są również, mające mniejsze znaczenie, proteina P20, chitynaza oraz proteiny SIP (*secreted insecticidal protein*) (Konecka i in. 2011).

Podstawowe spektrum żywicielskie Bt to: motyle, chrząszcze, muchówki, pluskwiaki i błonkówki, a więc najważniejsze rzędy owadów skupiające między innymi najistotniejsze gospodarczo szkodniki roślin (Schnepf i in. 1998). T. Kabaluk i K. Gazdik (2005) przedstawili zakres działania komercyjnych biopestycydów na bazie Bt, zarejestrowanych na rynku krajów Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD), z którego wynika, że możliwości ich stosowania są niesamowicie szerokie (największy zakres wśród wszystkich pestycydów mikrobiologicznych). Biopestycydy te można stosować do zwalczania kilkudziesięciu gatunków motyli szkodliwych w sadach, jagodnikach, uprawach warzyw i roślin rolniczych oraz w lasach (m.in. barczatek, brudnic, rolnic, słonecznic, sówek, bielinków, zwójek, korowódek, barciaków, tantnisi i innych). Niestety, praktyczne zwalczanie chrząszczy z udziałem Bt obecnie ogranicza się do rodziny stonkowatych i gatunku stonki ziemniaczanej, przy czym globalne znaczenie tego szkodnika jest tak duże, że biopestycydy Bt do jego zwalczania są popularne, tym bardziej że mogą być stosowane w uprawach ekologicznych. Toksyną aktywną wobec chrząszczy jest Cry3Aa wytwarzana przez *B. thuringiensis* subsp. *tenebrionis* (Btt). Jest ona bardzo skuteczna, zwłaszcza gdy jest stosowana w regularnych odstępach czasu od wczesnych faz rozwojowych szkodnika. Biopestycydy z Btt pojawiły się na rynku już pod koniec lat 80. XX w., jednak nie wytrzymały konkurencji z insektycydami neonikotynylowymi, przez co na pewien czas zaniechano ich produkcji. Obecnie są zarejestrowane w wielu krajach, w tym do stosowania w uprawach ekologicznych. Ponadto toksyna ta została wykorzystana w transgenicznej odmianie ziemniaka, która była całkowicie odporna na stonkę ziemniaczaną, ale kontrowersje związane z GMO spowodowały wycofanie odmiany z rynku światowego. Bt mogą też być stosowane w zwalczaniu szkodników przechowalni. Przykładami są tak ważne szkodniki, jak omanica spichrzanka i inne motyle szkodliwe w ziarnie zbóż oraz skośnik ziemniaczak. W spektrum żywicielskim Bt są również komary i meszki. Efektywne zwalczanie tych ważnych z medycznego punktu widzenia muchówek może być prowadzone z wykorzystaniem biopestycydów na bazie szczepu *B. thuringiensis* subsp. *israelensis* (Lacey i in. 2015).

Należy pamiętać, że Bt są stosowane nie tylko w biopestycydach mikrobiologicznych, są one najważniejszym dla odmian transgenicznych źródłem modyfikacji powodujących odporność na owady. Wspomniano już, że GMO wzbudza wiele kontrowersji, ale modyfikacje genetyczne wykorzystujące toksyny Bt są szerzej akceptowane z kilku powodów, a przede wszystkim z uwagi na specyfikę ich działania (spektrum szkodników), wysoką skuteczność oraz bezpieczeństwo dla konsumentów i organizmów innych niż docelowe. GMO na bazie Bt skomercjalizowano już na początku lat 80. ubiegłego wieku. Obecnie uprawy transgeniczne Bt obejmują ponad 170 mln ha, a odporne na szkodniki uprawy transgeniczne bawełny, kukurydzy i ryżu znacząco zredukowały zużycie chemicznych środków ochrony roślin (Bravo i in. 2011). Nie należy mieć obaw, że uprawy transgeniczne Bt zdominują światowe rolnictwo i wpłyną na zaniechanie produkcji standardowych biopestycydów mikrobiologicznych. Decyduje o tym przede wszystkim koszt opracowania i wdrożenia nowej odmiany transgenicznej (ok. 140 mln USD), opłacalny jedynie dla roślin uprawianych na ogromną skalę.

Pozostałe gatunki bądź rodzaje bakterii stosowane na świecie w komercyjnych biopestycydach mikrobiologicznych to *Lysinibacillus (Bacillus) sphaericus*, *Paenibacillus* spp., *Serratia entomophila* i *Chromobacterium subsugae*. Ogólną charakterystykę tych bakterii przedstawiono w tabeli 7.3.

**Tabela 7.3.** Ogólna charakterystyka bakterii innych niż Bt występujących w zarejestrowanych biopestycydach na świecie

Rodzaj/gatunek bakterii	Zwalczane szkodniki	Czynnik owadobójczy i zasada działania
<i>Lysinibacillus (Bacillus) sphaericus</i>	Muchówki, komary, larwy w zbiornikach wodnych, szczególnie rodzaj <i>Culex</i>	Białkowa toksyna binarna: BinA+ BinB wiązana ze swoistymi receptorami nabłonka jelita żołądka i jelita środkowego powodująca perforację, przez co dochodzi do zakłócenia równowagi osmotycznej, lizy komórek, a ostatecznie śmierci owada
<i>Paenibacillus</i> spp.	Chrzęszcze, rodz. <i>Scarabaeidae</i> (poświętnikowate, dawniej żukowate), larwy, szczególnie gatunek <i>Popillia japonica</i> , ale również <i>Cyclocephala</i> sp., <i>Amphimallon majale (Rhizotrogus majalis)</i> , <i>Anomala orientalis</i> , <i>Melolontha melolontha</i>	Połknięte przez owada zarodniki bakterii wywołują zakażenie hemocelu nazywane mlecznym ze względu na barwę hemolimy



Rodzaj/gatunek bakterii	Zwalczane szkodniki	Czynnik owadobójczy i zasada działania
<i>Serratia entomophila</i>	Chrzęszcze, rodz. <i>Scarabaeidae</i> (poświętnikowate, dawniej żukowate), larwy, <i>Costelytra zealandia</i>	Bakteria po spożyciu przez owada uwalnia toksynę, co skutkuje zaprzestaniem pobierania pokarmu, opróżnieniem jelita i zatrzymaniem w żołądku enzymów trawiennych, zarażone larwy przybierają charakterystyczne bursztynowe zabarwienie, stąd nazwa „choroba bursztynowa”
<i>Chromobacterium subtsugae</i>	Bardzo szeroki zakres: gatunek izolowany z larw stonki ziemniaczanej, oceniany za owadobójczy dla szkodników gryzących (gąsienice motyli, chrząszcze, w tym szczególnie stonkowate), kłująco-ssących, roztoczy	Toksyny VIP produkowane przez bakterie działają żołądkowo, bakteria oceniana też jako zmniejszająca płodność, ilość składanych jaj oraz żerowanie i aktywność szkodników, kandydat do opracowania roślin transgenicznych odpornych na szeroki zakres szkodników

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Lacey i in. 2015.

Liczne szczepy bakterii podlegały badaniom naukowym jako bioherbicydy. Spośród nich największy potencjał przypisywano *Pseudomonas fluorescens* i *Xanthomonas campestris*. Gatunek *P. fluorescens* znany raczej ze stymulowania wzrostu roślin skupia również szczepy produkujące metabolity silnie hamujące kiełkowanie. Wyizolowano kilka szczepów zdolnych hamować kiełkowanie i wzrost niektórych roślin trawiastych. Wśród nich wyróżniał się szczep WH6 hamujący kiełkowanie 29 gatunków roślin, a całkowicie bezpieczny dla hybryd kukurydzy. Zidentyfikowano chemicznie odpowiedzialny za to aktywny metabolit o nazwie GAF i określono zestaw genów regulujących jego syntezę. Wytwarzanie metabolitów pozakomórkowych o działaniu fitotoksycznym zaobserwowano również u szczepu BRG100, były to pseudofomy A i B. Tylko jeden gatunek bakterii – *Xanthomonas campestris* udało się dotychczas skomercjalizować jako bioherbicyd. Był on produkowany w celu zwalczania wiechliny rocznej na komercyjnych trawnikach w Japoni (Harding i Raizada 2015).

Głównym kierunkiem komercjalizacji bakterii w biologicznej ochronie roślin, ale nadal najważniejszym w skali świata w grupie biopestycydów, jest produkcja bioinsektocydów na bazie Bt.

Grzyby stanowią królestwo należące do domeny organizmów eukariotycznych, występują we wszystkich strefach klimatycznych, przede wszystkim na lądach, rzadziej w wodach. Największą liczebność osiągają w strefie tropikalnej,

ale bardzo duża liczba gatunków jest oceniana jako kosmopolityczna. Bioróżnorodność grzybów i możliwych grup troficznych jest największa wśród wszystkich organizmów żywych. Grzyby mogą być saprofitami (rozkładają martwe szczątki), symbiontami (żyją w symbiozie z organizmami autotroficznymi – roślinami, glonami, bakteriami, np. helotyizm i mikoryza) lub pasożytami (pasożytują na organizmach żywych).

Uważa się, że grzyby stanowią dominujące naturalne patogeny w populacjach stawonogów. Liczne epizootie grzybicze w populacjach owadów wskazują na ogromny potencjał tej grupy mikroorganizmów do regulacji liczebności szkodników. Podstawowym wyróżnikiem wśród mikroorganizmów owadobójczych jest to, że grzyby infekują swoich gospodarzy przez zewnętrzne powłoki ciała, bez względu na to, czy są one miękkie, czy twarde, a ich chorobotwórczość dotyczy szerokiego spektrum różnych stadiów rozwojowych stawonogów, od roztoczy, w tym kleszczy, przez owady kłująco-ssące, do owadów gryzących.

Obecnie wskazuje się, że grzyby rozpoznane pierwotnie jako patogeny stawonogów pełnią też inne ważne funkcje w agrocenozach. Gatunki stanowiące endofity roślin są antagonistami fitopatogenów. Ponadto grzyby owadobójcze są w stanie kolonizować ryzosferę, przez co zaliczono je do mikroorganizmów promujących wzrost roślin (Elliot i in. 2000).

Podobnie jak pozostałe grzyby – te patogenne wobec stawonogów występują we wszystkich strefach klimatycznych, a liczne gatunki uważa się za kosmopolityczne grzyby glebowe. Dodatkowym atutem grzybów entomopatogennych jest ich bezpieczeństwo nie tylko dla kręgowców, ale i entomofauny pożytecznej (specyfika rozwoju gatunków drapieżnych, pasożytoidów i zapylaczy nie sprzyja zakażeniom grzybiczym, a u niektórych gatunków owadów pożytecznych może występować odporność).

Zakażenia powodowane przez grzyby entomopatogenne mają typowy przebieg choroby grzybiczej zapoczątkowanej adhezją, kiełkowaniem zarodnika i przerostem grzybni poprzez oskórek do hemocelu, co w przypadku tych grzybów skutkuje śmiercią żywiciela (Ortiz-Urquiza i Keyhani 2013).

Warunkami niezbędnymi do zakażenia jest odpowiednio zjadliwa diaspora grzyba (najczęściej konidia), obecność podatnego na infekcję żywiciela i cechy środowiska umożliwiające infekcję. W biopestycydach wykorzystuje się diasporę w formie suchej aplikowanej do gleby (najczęściej konidia granulowane z podłożem hodowlanym) lub w cieczach w przypadku zabiegów na części nadziemne roślin. Jednym z ograniczeń w produkcji jest stopniowa utrata zjadliwości w hodowli na podłożach syntetycznych, czemu zapobiega się, stosując pasażowanie na naturalnym żywicielu (Nahar i in. 2008). Ponadto grzyby uważane są za stosunkowo wolno uśmiercające swoich żywicieli, przez co stale

poszukuje się wydajniejszych szczepów, a ostatnio prowadzone są próby manipulacji genetycznych w celu przełamania tej cechy (Lacey i in. 2015).

Wszystkie grzyby wykazują wrażliwość na suszę. W przypadkach gatunków entomopatogennych cecha ta ma nieco mniejsze znaczenie, a grzyby te mogą infekować stawonogi nawet w warunkach niskiej wilgotności otoczenia, np. konidia, które znajdują się w fałdach pomiędzy segmentami ciała żywiciela lub pod okrywkami, mają dogodne warunki do przebiegu infekcji. Ocenia się również, że typowa wilgotność łąnu roślin uprawnych nie ogranicza procesu infekcji grzybiczej (Jaronski 2010).

Grzyby entomopatogenne aplikowane do agrocenozy utrzymują żywotność nawet kilka lat. Oczywiście najważniejszym czynnikiem spadku liczebności diaspor jest brak żywiciela, a więc trwałość w środowisku jest pewnym ograniczeniem dla gatunków o wąskim spektrum żywicielskim.

Od dwóch dekad, w dobie dynamicznego rozwoju technik molekularnych doszło do wielkich zmian w poziomie wiedzy na temat grzybów. Dokonał się znaczący przełom w rozpoznaniu ewolucji (filogenezy) grzybów oraz w kojarzeniu form anamorficznych i teleomorficznych. Poznano też szczegóły metabolizmu tych wyjątkowych organizmów. Ciągły rozwój wiedzy w tym zakresie wpływa między innymi na rozwój biologicznych metod ochrony roślin prowadzonych z udziałem grzybów. Obecnie wiedza podstawowa jest na tyle rozległa, że powinno się prowadzić działania w celu poprawy efektywności polowej biopestycydów, co wpłynie na większą komercjalizację tych przyjaznych dla środowiska i zrównoważonego rozwoju metod ochrony roślin. Asortyment dostępnych na światowym rynku biopestycydów na bazie grzybów owadobójczych obejmuje mykoinsektycydy i mykoakarycydy. Tradycyjne metody produkcji były ukierunkowane na pozyskanie w opłacalny, powtarzalny sposób dużej ilości czystego, stabilnego inokulum w formułacji łatwej do przechowywania i stosowania. Postęp w opracowaniu metod fermentacji zniósł wiele ograniczeń, ale stale potrzebne są dalsze badania. Zwraca się też uwagę na opracowanie wydajnych technik, docelowych aplikacji małej ilości diaspor. Obiecującym rozwiązaniem wydaje się wykorzystanie owadów zapylających do propagacji diaspor w agrocenozach – wykorzystano już pszczoły miodne do transportu suchych konidiów entomopatogenów w uprawę rzepaku do zwalczania słodyszka rzepakowego (Butt i in. 1998) oraz zmiennika (Al-mazraawi i in. 2006a), a trzmiele w uprawie pod osłonami – do zwalczania zmienników i wciornastków (Al-mazraawi i in. 2006b). Grzyby entomopatogenne mogą być też skuteczne jako zaprawy nasienne lub zaprawy rozsady. Postęp w produkcji specyficznych polimerów tworzących otoczkę spowodował, że grzyby te w małej ilości mogą stanowić obecnie z powodzeniem komponent efektywnej zaprawy. Kolejną ciekawą praktyką jest wprowadzanie diaspor grzyba do pułapek zapachowych, feromonowych lub

z atraktantem albo na rośliny pułapkowe wabiące szkodniki. Inicjuje to auto-propagację diaspor w populacji szkodnika (Baverstock i in. 2010). Można też wykorzystać częste zjawisko grupowania się populacji owadów, np. podczas zimowania, i stosować aplikację punktową (Dowd i Vega 2003). Grzyby entomopatogenne wykazują również synergizm w działaniu na szkodniki nawet z pestycydami chemicznymi stosowanymi w dawkach zaniżonych, co można wykorzystać w częściowej redukcji stosowania pestycydów. Grzyby entomopatogenne można również łączyć z innymi czynnikami biologicznego zwalczania, takimi jak: bakterie czy nicienie owadobójcze (Shah i in. 2007, 2008). Te liczne przykłady istotnych modyfikacji wskazują na obiecującą alternatywę w działaniach mających na celu zwiększenie skuteczności i opłacalności stosowania środków ochrony biologicznej na bazie grzybów. Przegląd skomercjalizowanych gatunków grzybów przedstawiono w tabeli 7.4.

**Tabela 7.4.** Przegląd skomercjalizowanych gatunków grzybów entomopatogennych i zakresu ich stosowania

Gatunek	Zwalczane szkodniki	Skala komercjalizacji
<i>Aschersonia aleyrodis</i>	pluskwiaki/czerwce	mała
<i>Beauveria bassiana</i>	blonkówki, chrząszcze, dwuparce, motyle, muchówki, pchły, pluskwiaki, prostoskrzydłe, roztocze, termity, wciornastki	bardzo duża
<i>Beauveria brongniartii</i>	chrząszcze/poświętnikowate	duża
<i>Conidiobolus thomboides</i>	pluskwiaki, roztocze, wciornastki	mała
<i>Hirsutella thompsonii</i>	roztocze	bardzo mała
<i>Isaria fumosorosea</i>	chrząszcze, muchówki, pluskwiaki, roztocze, wciornastki	duża
<i>Lagenidium giganteum</i>	muchówki/komary	mała
<i>Lecanicillium longisporum</i>	pluskwiaki/mączliki, mszyce, wciornastki	mała
<i>Lecanicillium muscarium</i>	pluskwiaki, roztocze, wciornastki	mała
<i>Metarhizium anisopliae</i>	chrząszcze, karaczany, motyle, muchówki, pluskwiaki, prostoskrzydłe/szarańcza, roztocze, termity	bardzo duża
<i>Metarhizium acridum</i>	Prostoskrzydłe	mała
<i>Nomuraea rileyi</i>	Motyle	mała

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Lacey i in. 2015.

Grzyby są również wykorzystane w walce biologicznej z fitopatogenami, a szczególnie z grzybami fitopatogennymi (grzyby przeciwko grzybom!). Najbardziej znanym rodzajem grzybów występującym w biopestycydach do zwalczania chorób grzybowych jest *Trichoderma* spp., która ogranicza rozwój innych grzybów poprzez nadpasożytnictwo, konkurencję i antybiozę. W tym celu są stosowane skomercjalizowane preparaty o potwierdzonej skuteczności.

W procesie nadpasożytnictwa znaczącą rolę odgrywają enzymy lityczne degradujące ściany komórkowe patogenów. *Trichoderma* wytwarza liczne enzymy, takie jak celulazy, ksylanazy, pektynazy, glukonazy, lipazy, amylazy, arabinazy i proteazy. Scharakteryzowano również bardzo liczne chitynazy – najważniejsze enzymy lityczne degradacji ścian komórkowych grzybów patogennych dla roślin – produkowane przez gatunki należące do *Trichoderma*. Za nadpasożytnictwo względem organizmów grzybopodobnych powodujących choroby roślin odpowiadają z kolei glukonazy. Zewnątrzkomórkowe enzymy proteolityczne *Trichoderma* mogą modyfikować aktywność enzymatyczną innych grzybów i niektórych nicieni fitopatogennych.

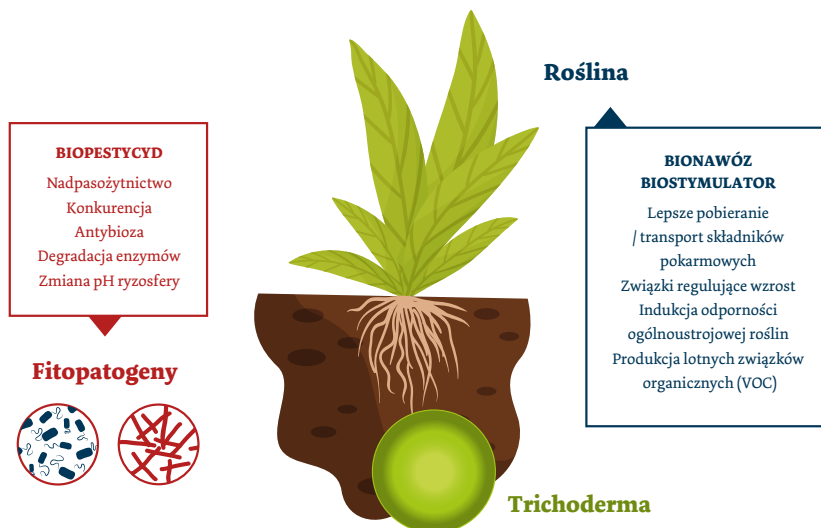
*Trichoderma* efektywnie konkuruje z fitopatogenami o składniki pokarmowe, nisze ekologiczne lub miejsca w ryzopłanie roślin. *Trichoderma* może wytwarzać siderofory chelatujące żelazo lub zakwaszać środowisko, co hamuje wzrost innych grzybów. Stwierdzono, że *Trichoderma* intensywnie kolonizuje ryzosferę, a mechanizmy w to zaangażowane są podobne do tych, które występują u arbuskularnych grzybów mykoryzowych. Niektóre szczepy *Trichoderma* wykazują zwiększoną aktywność hydrofobin, co wpływa na przyłączenie włókien grzybni do hydrofobowych powierzchni korzeni roślin. Ponadto są one odporne na wytwarzane przez rośliny, w odpowiedzi na infekcję, fitoaleksyny, flawonoidy, terpenoidy i fenole.

Ostatnim zjawiskiem związanym z *Trichoderma*, wpływającym na ograniczanie rozwoju innych organizmów, jest antybioza. Antybioza względem innych organizmów jest oparta na metabolizmie *Trichoderma*. Związki wydzielane przez *Trichoderma*, takie jak: antybiotyki lotne, rozpuszczalne w wodzie i peptydowe (peptaibole), wykazują działanie hamujące lub zabójcze względem patogennych dla roślin mikroorganizmów. Heterogenne mieszaniny substancji antybiotycznych i enzymów litycznych *Trichoderma* mają bardzo silny niekorzystny wpływ na mikroorganizmy niepożądane. Mogą również ograniczać szkodliwość wirusów.

Ponadto *Trichoderma* wykazuje cechy organizmu stymulującego wzrost roślin. Korzystny wpływ na wzrost i plonowanie roślin wynika ze stymulacji produkcji witamin oraz lepszej dostępności i intensywniejszego pobierania/transportu związków pokarmowych. *Trichoderma* poprzez wydzielanie związków auksynopodobnych lub kwasów, takich jak: glukonowy, cytrynowy

i kumarynowy, może stymulować kiełkowanie oraz wpływać na dostępność fosforu i mikroelementów. Niektóre metabolity *Trichoderma* stanowią elicytory, które indukują odporność ogólnoustrojową roślin. Geny *Trichoderma* są też wykorzystywane w tworzeniu roślin transgenicznych przede wszystkim w kierunku odporności na choroby (Hermosa i in. 2012, Błaszczyk i in. 2014, Contreras-Cornejo i in. 2016) – rysunek 7.7.

**Rysunek 7.7.** Wpływ *Trichoderma* na fitopatogeny i rośliny uprawne



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Contreras-Cornejo i in. 2016.

Obok *Trichoderma* do walki z chorobami roślin wykorzystuje się też inne gatunki grzybów. Nie mają one jednak tak szerokiego spektrum działania.

Gatunki grzybów wykorzystywane praktycznie w biologicznej ochronie roślin przed chorobami przedstawiono w tabeli 7.5.

**Tabela 7.5.** Gatunki grzybów wykorzystywane w biofungicydach

Gatunek	Zwalczane choroby	Wykorzystanie
<i>Ampelomyces quisqualis</i>	mączniak prawdziwy	uprawy warzyw i owoców, szczególnie winorośli
<i>Candida oleophila</i>	szara pleśń	–
<i>Coniothyrium minitans</i>	zgnilizna twardzikowa	uprawy roślin z rodz. <i>Brassicaceae</i> , szczególnie rzepak oraz uprawa sałaty

Gatunek	Zwalczane choroby	Wykorzystanie
<i>Fusarium oxysporum</i> – szczepy niepatogeniczne	fuzariozy	–
<i>Gliocladium catenulatum</i> <i>Gliocladium virens</i>	czarna zgnilizna zawiązków i pędów roślin dyniowatych szara pleśń zgnilizna sadzonek zgorzel siewek choroby przechowalnicze	uprawy warzyw, ziół i roślin ozdobnych pod osłonami oraz uprawy polowe truskawki produkty przechowywane
<i>Paecilomyces tenuipes</i>	mączniak prawdziwy	–
<i>Phlebiopsis gigantea</i>	choroby huby korzeni opieńkowa zgnilizna korzeni drzew leśnych	drzewa i drewno
<i>Pythium oligandrum</i>	fytoftoroza, fuzarioza, szara pleśń, zgnilizna twardzikowa, zgorzel podstawy łodyg	uprawy warzyw i kwiatów
<i>Pseudozyma flocculosa</i>	mączniak prawdziwy	uprawy róż, ogórka
<i>Aureobasidium pullulans</i>	szara pleśń mączniak prawdziwy bakteryjna zaraza ogniowa w sadach	uprawy polowe i sady
<i>Trichoderma asperellum</i>	patogeny glebowe	uprawy pomidorów, ogórków, papryki, cukinii, roślin ozdobnych, w tym goździków
<i>Trichoderma atroviride</i>	zamieranie pędów, choroby korzeni, szara pleśń, zgnilizna drewna typu białego, srebrzystość liści	uprawy warzyw, owoców, w tym jagodowych i roślin ozdobnych
<i>Trichoderma harzianum</i>	patogeny glebowe i liści, w tym szara pleśń, ryzoktonioza, fuzarioza, zgnilizna twardzikowa, zgorzel podstawy łodyg	uprawy polowe roślin rolniczych i warzyw, uprawy pod osłonami
<i>Trichoderma gamsii</i>	patogeny glebowe i części nadziemnych	uprawy rośliny ozdobnych
<i>Trichoderma polysporum</i>	zamieranie pędów, choroby korzeni, szara pleśń, zgnilizna drewna typu białego, srebrzystość liści	uprawy warzyw, owoców, w tym jagodowych, roślin ozdobnych

Gatunek	Zwalczane choroby	Wykorzystanie
<i>Trichoderma virens</i>	patogeny glebowe i liści, w tym sucha plamistość liści ziemniaka, szara pleśń, zgorzel siewek, ostra plamistość oczkowa, rizoktonioza ziemniaka, bakteryjna cętkowość pomidora i inne bakteriozy powodowane przez <i>Pseudomonas syringae</i>	uprawy warzyw, owoców, w tym jagodowych i roślin ozdobnych
<i>Trichoderma viride</i>	patogeny glebowe i liści, w tym szara pleśń, ryzoktonioza, fuzarioza, zgnilizna twardzikowa, zgorzel podstawy łodyg	uprawy polowe roślin rolniczych i warzyw, uprawy pod osłonami
<i>Yarrowia lipolytica</i>	gnicie owoców	przechowalnie

Źródło: opracowanie własne.

Niektóre gatunki grzybów mogą być wykorzystywane jako bioherbicydy. *Chondrostereum purpureum* to gatunek skomercjalizowany, który naturalnie występuje na pniakach świeżo ściętych drzew. Stosuje się go w lasach iglastych, aby zapobiec ponownemu odrośnięciu niepożądanych drzew, takich jak: czereśnia amerykańska (*Prunus serotina*), brzoza żółta (*Betula lutea*) i topola (*Populus* spp.). Patogen rozwija się w drewnie i rozprzestrzenia w układzie naczyniowym, gdzie blokuje przewodzenie. Po jednym lub dwóch latach patogen jest zastępowany przez inne gatunki powodujące gnicie drewna. Badania wykazały, że ok. 95% traktowanych pniaków ginie w ciągu dwóch lat. Środek jest sprzedawany jako zawieszina grzybni w wodzie. Z kolei *Colletotrichum gloeosporioides* wyizolowany z żywopłonu *Aeschynomene virginica* w USA jest przeznaczony do zwalczania chwastów w uprawach ryżu i soi. *Phytophthora palmivora* naturalnie gatunek chorobotwórczy *Morrenia odorata* – rośliny z rodziny toinowatych, służy do zwalczania tej rośliny w uprawach cytrusów i innych roślin wieloletnich. Jest patogenem silnie wyspecjalizowanym, ale zabicie rośliny trwa kilka tygodni. Niektóre gatunki z rodzaju *Phoma* mogą być wykorzystywane jako bioherbicydy w ochronie trawników, np. *P. herbarum* zwalcza mniszek lekarski, *P. macrostoma* hamuje wzrost różnych roślin dwuliściennych (szczep 94-44B jest już zarejestrowany do ochrony darni w Kanadzie i Stanach Zjednoczonych). *P. macrostoma* zwalcza między innymi oset kanadyjski, a *P. chenopodicola* – komosę białą *Chenopodium album*. Grzyby z rodzaju *Phoma* wytwarzają fitotoksyczne metabolity, które często nie są aktywne dla roślin formy jednoliściennej, ale zjawisko to nie do końca zostało jeszcze rozpoznane. Podobne właściwości wykazano dla *Sclerotinia*



*minor*, a szczep IMI 344141 został już zarejestrowany do pielęgnacji trawników w Kanadzie. Z kolei *S. sclerotiorum* wykazuje działanie fitotoksyczne wobec ostrożeńca polnego. Za działanie fitotoksyczne tych gatunków odpowiedzialny jest kwas szczawiowy zakwaszający tkankę roślinną, co wywołuje degradację ściany komórkowej i zaburza system odpornościowy roślin. Gatunek *Puccinia thlaspeos* jest zarejestrowany w krajach EPA do zwalczania urzetu barwierskiego *Isatis tinctoria*, a *Alternaria destruens* – do zwalczania kianiarki *Cuscuta spp.* Rejestracja nie zawsze oznacza występowanie środka ochrony na rynku. Część wymienionych biopestycydów pomimo rejestracji w określonych rejonach świata nie jest wytwarzana z powodu niskiej opłacalności (Harding i Raizada 2015).

Dawniej określane jako pierwotniaki, obecnie zaliczane do protistów zwierzęcych, mikroorganizmy eukariotyczne są zdolne atakować liczne bezkręgowce, w tym wiele gatunków owadów. Najważniejsze w praktyce są zaliczane do rodzaju *Nosema*. Zarodniki *Nosema spp.* po znalezieniu się w układzie pokarmowym kiełkują w jelicie środkowym owada. Wytwarzana przez nie sporoplazma atakuje komórki docelowe żywiciela, powodując masową infekcję niszczącą tkanki i narządy. W zakażonych tkankach dochodzi do ponownej sporulacji, następnie uwolnienia zarodników i porażenia kolejnego żywiciela. *Nosema spp.* często powodują epizootie, niestety również owadów pożytecznych, jak np. *Nosema apis* atakujący pszczoły. Naturalnymi wektorami protistów mogą być pasożytniki i drapieżniki owadów rozprzestrzeniające zarodniki. Wiele badań przeprowadzono w celu komercjalizacji protistów atakujących owady szkodliwe, ale w dużej mierze uzyskane wyniki były niezadowalające. Przede wszystkim śmierć szkodników jest znacznie bardziej powolna w porównaniu z innymi czynnikami zwalczania. Jedyne skomercjalizowany produkt na rynku światowym przeznaczony jest do zwalczania szarańczy i innych owadów prostoskrzydłych. Produkt oceniono jako nietoksyczny dla ssaków, ryb, pszczół i innych organizmów pożytecznych. Ma on ograniczone znaczenie i może być jedynie wymieniany jako przykład wykorzystania protistów w walce biologicznej ze szkodnikami roślin (Copping i Menn 2000).

## Biochemikalia

Biopestycydy zaliczane do tzw. biochemikaliów podzielone są na dwie grupy, tj. związki naturalnie produkowane przez owady, czyli chemiczne informatory owadów, oraz związki pochodzenia roślinnego.

## Chemiczne informatory owadów

Chemiczne informatory owadów to bardzo różnorodna grupa związków, które można podzielić na:

- 1) związki działające wewnątrz organizmu owadów – regulatory wzrostu owadów;
- 2) związki wydzielane do środowiska przez owady – semiozwiązki, które mogą działać:
  - a) wewnątrzgatunkowo (działają na populację danego gatunku występującą na danym obszarze) – są to feromony;
  - b) międzygatunkowo (działają pomiędzy populacjami różnych gatunków występującymi na danym obszarze) – są to allelozwiązki, które mogą mieć różny wpływ na gatunki będące w interakcji, tj.:
    - być korzystne jedynie dla gatunku emitującego związek – są to allomony,
    - być korzystne dla gatunku odbiorcy – są to kairomony,
    - być korzystne dla emitera i odbiorcy – są to synomony,
    - być niekorzystne dla emitera i odbiorcy – są to antymony,
    - być emitowane przez czynnik biotyczny i działać korzystnie na jeden gatunek, a niekorzystnie na inne – są to apneumony.

Podział chemicznych informatorów owadów przedstawia rysunek 7.8.

**Rysunek 7.8.** Podział związków należących do chemicznych informatorów owadów



Źródło: opracowanie własne.

Regulatory wzrostu owadów (*insect growth regulators* – IGR) występują naturalnie w organizmach tych zwierząt i pełnią określone funkcje w ich rozwoju (procesy linienia, przemiana pokoleń). W ochronie roślin już w latach 70. ubiegłego wieku zwrócono uwagę na te substancje, jako możliwe do wykorzystania

w walce ze szkodnikami roślin. W porównaniu z insektycydami powodującymi śmierć owadów związki te wykazują selektywność, a przez to są znacznie mniej szkodliwe dla środowiska. Regulatory wzrostu owadów zalicza się do tzw. pestycydów III generacji, a w praktycznej ochronie roślin stosuje się najczęściej syntetyczne analogi substancji naturalnych.

Wszystkie procesy życiowe owadów są regulowane wewnętrznie przez układy neurohormonalne. Liczneuropeptydy mogą przyspieszać lub opóźniać wzrost i rozwój owadów. Podstawowe grupy IGR to:

- hormony juwenilne oraz ich analogi, tzw. juwenoidy,
- agoniści ekdyzonu – związki powodujące zakłócenia w procesach linienia,
- inhibitory syntezy chityny lub inhibitory linienia.

Hormony juwenilne i ekdyzon regulują zmiany morfogenetyczne podczas metamorfozy (przeobrażenia) owadów. Inhibitory syntezy chityny zakłócają biosyntezę chityny – podstawowego budulca oskórka u owadów, przez co zaburzają linienie lub tworzenie zewnętrznego szkieletu.

W latach 70. XX w. rozpoczęto wdrażanie analogów, czyli syntetycznych juwenoidów, takich jak: metopren, hydropren i kinopren. Z biegiem lat opracowano liczne ulepszone juwenoidy, np. fenoksykarb i piriproksyfen. Odkrycie diflubenzuronu, jako syntetycznego inhibitora syntezy chityny, spowodowało zainteresowanie tą grupą i dalsze prace, które zakończyły się wprowadzeniem na rynek takich substancji czynnych, jak nowaluron, lufenuron, heksaflumuron, buprofezyna i etoksazole. Diflubenzuron stosowany jest na całym świecie. Zalecany jest szczególnie w integrowanych programach ochrony roślin i do stosowania w lasach. Związek ten wykorzystuje się również w higienie sanitarnej i weterynaryjnej do zwalczania larw muchówek, w tym komarów oraz pcheł. Należy pamiętać, że zwalczanie larw w zbiornikach wodnych może powodować zniszczenie zooplanktonu, ponieważ ze względu na budowę i zawartość chityny w osłonach ciała może on być wrażliwy na te pestycydy. Jako pierwsze analogi agonisty ekdyzonu na rynku pojawiły się stosunkowo niedawno bisacylohydrazyny, a po nich odkryto tebufenozyd, metoksyfenozyd, halofenozyd i chromafenozyd – związki charakteryzujące się wysokim stopniem selektywności wobec określonych grup szkodników. IGR nie stanowią substancji naturalnych, ale są realną alternatywą dla neurotoksycznych, nieselektywnych insektycydów chemicznych (Mondal i Selina 2000, Subramanian i Shankarganesh 2016). Toksyczność inhibitorów syntezy chityny względem innych niż owady czy roztocza stawonogów powoduje obawy o ich pełne bezpieczeństwo dla środowiska. Należy jednak pamiętać, że badania prowadzone w przypadku rejestracji substancji czynnej eliminują obecnie środki niebezpieczne, a stosowanie zarejestrowanych pestycydów

powinno się odbywać na zasadach integrowanej ochrony roślin i zgodnie z etykietą środka.

Owady produkują i uwalniają do środowiska liczne substancje, które mogą być informacją w interakcji roślina – owad lub owad – owad w ujęciu wewnątrzgatunkowym lub międzygatunkowym. Związki tego typu, nazywane semiozwiązkami, mogą być wykorzystywane w ochronie roślin jako alternatywa pestycydów lub bardzo skuteczne metody komplementarne, np. metody monitoringu owadów.

Semiochemikalia to substancje lub mieszaniny substancji uwalnianych przez jeden z organizmów, który wywołuje reakcję behawioralną lub fizjologiczną osobnika tego samego lub innego gatunku. Semiochemikalia wpływają na zachowanie owadów szkodliwych w uprawach roślin głównie przez związki emitowane przez inne owady lub interakcje roślina – owad.

Jedyną, ale bardzo ważną z praktycznego punktu widzenia grupą semiozwiązków o działaniu wewnątrzgatunkowym są feromony. Są to semiochemikalia specyficzne tylko dla jednego, danego gatunku, które umożliwiają komunikację między osobnikami w populacji danego gatunku, czyli komunikację wewnątrzgatunkową. Feromony wywołują reakcję u odbiorcy, która polega na zmianie jego zachowania. Jeszcze w latach 30. XX w. feromony były nazywane ektohormonami (hormony zewnętrzne). Termin „feromon” został zaproponowany w 1959 r. przez P. Karlsona i M. Lüschera, którzy zdefiniowali go jako: „substancję, która jest wydzielana na zewnątrz przez osobnika i odbierana przez drugiego osobnika, u którego to uwalnia określoną reakcję”. Słowo „feromon” zostało utworzone z dwóch greckich słów: *pherin* (przenieść) i *hormon* (wzbudzać). Feromony to najczęściej skomplikowane lotne mieszaniny wielu różnych związków chemicznych (najczęściej lipidów) z jednym dominującym składnikiem, ale mogą to też być pojedyncze substancje. Cechą charakterystyczną jest ich działanie w bardzo małym stężeniu. Podział feromonów produkowanych przez owady uwzględniający sposób ich działania przedstawia rysunek 7.9. W przypadku wielu gatunków owadów feromony mają ogromny wpływ na przeżycie populacji, rozmnażanie i organizację społeczną. Ostatnich 50 lat przyniosło wiele odkryć związanych z tzw. chemicznym językiem owadów. Scharakteryzowano formy, funkcje i biosyntezę wielu feromonów, co doprowadziło nie tylko do opracowania strategii zwalczania wielu szkodników, ale także umożliwiło wiele odkryć związanych z biologią ewolucyjną. Pomimo ogromnej różnorodności struktur chemicznych w badaniach różnych gatunków pojawiły się pewne wspólne funkcje, jak też wspólne ścieżki biosyntezy feromonów (Yew i Chung 2015, Abd El-Ghany 2019).

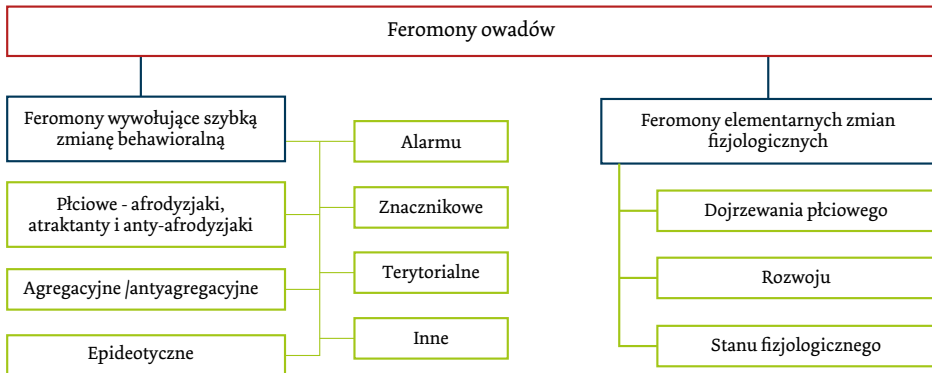
Semiozwiązki międzygatunkowe nie są jeszcze tak dobrze rozpoznane jak feromony, a ich praktyczne wykorzystanie jest znikome. Można tu wspomnieć o wykorzystaniu kairomonów lub synomonów do sterowania populacją owadów pożytecznych będących wrogami naturalnymi szkodników roślin.

Skuteczność wszystkich semiochemikaliów zależy głównie od ich właściwości fizycznych, tj. struktury molekularnej, lotności, rozpuszczalności i trwałości w środowisku. Ważnym czynnikiem wpływającym na stabilność tych związków jest temperatura. Zalety semiozwiązków to przede wszystkim ich wysoka lotność pozwalająca na dyfuzję na duże odległości, skuteczność w niskich stężeniach i szybkie rozpraszanie, które minimalizuje ryzyko zdrowotne i środowiskowe.

Wykorzystanie semiozwiązków, a przede wszystkim feromonów w ochronie roślin przed szkodnikami stało się bardzo popularne. Związki te są w pełni bezpieczne dla owadów pożytecznych i innych zwierząt, umożliwiają przy tym dość znaczące manipulowanie zachowaniem szkodników. W praktyce stosowane są następujące strategie:

- zakłócanie kojarzenia się osobników w celu rozmnażania,
- pułapki do masowego wabienia,
- wabienie i zabijanie przy użyciu innego czynnika (pestycydu, kleju, płynu, mechanicznie itp.),
- strategia *push-pull* (dywersyjno-odstraszająca).

**Rysunek 7.9.** Podział feromonów produkowanych przez owady



Źródło: opracowanie własne.

Innowacyjna strategia stosowania semiozwiązków nazywana *push-pull* to połączenie czynnika odstraszającego (związek lub uprawa) i atraktantu (przy-nęty). Taka taktyka znacznie poprawia efekt wychwytywania szkodników i staje się coraz bardziej popularna. Opracowano bardzo skuteczne metody

zwalczania ogrodnicy niszczylistki, mszyc i muszki płamoskrzydłej, wykorzystujące *push-pull*. Strategia ta oczywiście wymaga dobrej znajomości biologii owadów, ekologii oraz zjawisk interakcji pomiędzy roślinami żywicielskimi a owadami (Abd El-Ghany 2019).

Semiozwiązki mogą być stosowane w zwalczaniu jednego gatunku lub w mieszaninie – działać na kilka gatunków jednocześnie. Rozpoczęto już ich stosowanie w modyfikacji genetycznej roślin, np. wprowadzenie genu odpowiedzialnego za syntezę feromonu alarmu do roślin może powodować jednoczesne odpychanie mszyc i przyciąganie ich pasożyta (błonkówki składającej jaja do ciała szkodników). Pszenica z tym genem była już testowana w badaniach polowych. Kolejnym znaczącym wykorzystaniem semiozwiązków jest uproszczenie i przyspieszenie badań z zakresu oceny liczebności i biologii owadów, co można wykorzystać do opracowania właściwej strategii ich zwalczania. Związki te mogą też być stosowane w monitoringu szkodników w uprawach w celu określenia terminu pojawu, progu ekonomicznej szkodliwości (zagęszczenie populacji) lub terminu zabiegu (Yew i Chung 2015, Abd El-Ghany 2019).

## Związki pochodzenia roślinnego

Związki pochodzenia roślinnego, nazywane pestycydami botanicznymi, to naturalne chemikalia o właściwościach toksycznych, ograniczających rozwój lub repelentne, które są ekstrahowane z roślin i stosowane jako alternatywa dla syntetycznych chemicznych pestycydów w ochronie upraw. Pestycydy pochodzenia roślinnego można wytwarzać samodzielnie, co jest bardzo popularną praktyką w rolnictwie ekologicznym krajów rozwiniętych, lub nabywać jako gotowe środki komercyjne produkowane na bazie roślin (ekstrakty lub analogi substancji naturalnych).

Pestycydy botaniczne to naturalnie występujące substancje chemiczne pozyskiwane z roślin. Naturalne produkty pestycydowe są dostępne jako alternatywa dla syntetycznych preparatów chemicznych, ale niekoniecznie są mniej toksyczne dla ludzi. Niektóre z najbardziej śmiertelnych, szybko działających toksyn i silnych czynników rakotwórczych występują naturalnie (El-Wakeil 2013).

Związki pochodzenia roślinnego mogą działać na wszystkie grupy agrofagów, tj.:

- na owady i inne stawonogi – toksycznie, modyfikując rozwój, repelentnie,
- na szkodliwe zwierzęta kręgowce – toksycznie, repelentnie,
- na fitopatogeny – toksycznie, modyfikując rozwój,
- na chwasty – toksycznie, modyfikując rozwój.

Wśród wymienionych grup największe znaczenie praktyczne mają insektycydy botaniczne (związki działające na owady). Największy udział w rynku bioinsektycydów botanicznych przypisuje się obecnie środkom na bazie azadirachtyny i pyretryn. Duże znaczenie w ograniczaniu rozwoju agrofagów (stawonogów, mikroorganizmów, chwastów) mają też olejki eteryczne pozyskiwane z roślin (Hikal i in. 2017). W tabeli 7.6 przedstawiono charakterystykę najpopularniejszych związków pochodzenia roślinnego występujących na światowym rynku pestycydów botanicznych.

**Tabela 7.6.** Przykłady związków pochodzenia roślinnego stosowanych w biologicznej ochronie roślin

Nazwa związku	Pochodzenie	Spektrum działania	Sposób działania
Antranilan metylu	ester metylowy kwasu antranilowego, ekstrakt z szerokiej gamy roślin, w tym winogron, neroli, glicynii, pomarańczy i ylang-ylang	repelent	działanie odstrasżające zapachem i smakiem
Azadirachtyna	tetranortriterpenoid; ekstrakt roślinny pozyskiwany z drzewa miodli indyjskiej (Neem) <i>Azadirachta indica</i> lub oleju	insektycyd, fungicyd, akarycyd	regulator wzrostu (działanie juvenizujące), zakłócając rozwój owadów w stadiach preimaginalnych, hamuje powstawanie i wydzielanie ekdysonu, oddziałuje na poziomie hormonalnym, powodując zaburzenia morfogenetyczne, co prowadzi do powstawania tzw. larw permanentnych, czyli niezdolnych do przekształcania się w postaci dorosłe z powodu zniszczenia naskórka; mają działanie odstrasżające, wynikające z efektu o charakterze smakowym, węchowym i neurofizjologicznym, powoduje znaczący spadek aktywności samic w składaniu jaj oraz żywotności jaj wielu owadów, działa kontaktowo i żołądkowo, ponadto ogranicza wzrost grzybów

Nazwa związku	Pochodzenie	Spektrum działania	Sposób działania
Cynamal (aldehyd cynamonowy)	aldehyd, do użytku komercyjnego olej cynamonowy pozyskiwany jest ze świeżych nasion <i>Senna</i> ( <i>Cassia tora</i> )	fungicyd, bakteriocyd, insektycyd, repelent, herbicyd	środek systemiczny absorbowany przez korzenie roślin
D-limonen	monoterpen, główny składnik kilku olejków cytrusowych (pomarańczowego, cytrynowego, mandarynkowego, limonkowego i grejpfrutowego)	insektycyd, repelent, adiuwant, substancja weterynaryjna	repelent zapachowy
Ekstrakt czosnkowy (olejek eteryczny czosnkowy i alliina)	ekstrakt z roślin czosnku ( <i>Allium sativum</i> )	insektycyd, repelent, nematocyd, bakteriocyd	repelent zapachowy, właściwości przeciwdrobnoustrojowe
Ekstrakt z makieli sercowatej	alkaloidy izochinolinowe pozyskiwane z roślin makieli sercowatej ( <i>Macleaya cordata</i> )	fungicyd	silne działanie przeciwdrobnoustrojowe
Ekstrakt z rdestowca sachalińskiego	wyciąg z rdestowca sachalińskiego ( <i>Reynoutria</i> <i>sachalinensis</i> )	fungicyd, bakteriocyd	biostymulant, stosowany zapobiegawczo do aktywacji systemu odpornościowego, zapobiega rozwojowi niektórych grzybów i bakterii
Ekstrakt z rzewienia lekarskiego	pozyskiwany z azjatyckich roślin rzewienia lekarskiego <i>Rheum officinale</i>	fungicyd	zawiera kwas rzemieniowy, szczawian wapniowy i olejki eteryczne – związki fenolowe (np. chryzofanol, parietinę), które hamują metabolizm komórek grzybów, a tym samym zapobiegają rozwojowi grzybni
Ekstrakt z urgini morskiej	bogaty w glikozydy pozyskiwany z roślin urginii morskiej <i>Drimia maritima</i>	rodentycydy	działanie żołądkowe, powoduje wymioty i wpływa na układ sercowo-naczyniowy gryzoni i ośrodkowy układ nerwowy



Nazwa związku	Pochodzenie	Spektrum działania	Sposób działania
Eugenol	terpen występujący w szerokiej gamie roślin, w tym niektórych gatunkach wawrzynowatych ( <i>Lauraceae</i> ); podstawowy składnik olejku goździkowego, występuje też w cynamonie	insektycyd, fungicyd, bakteriocyd, herbicyd	ogranicza wzrost bakterii, grzybów, odstrasza owady
Geraniol	jest głównym składnikiem olejku różanego, pelargoniewego i cytrynowego	fungicyd, atraktant, repelent, substancja weterynaryjna	niszczy ściany komórkowe, błony i organella mikroorganizmów
Gluten kukurydziany	mieszanina białek roślinnych, produkt uboczny z procesu pozyskiwania skrobi z kukurydzy Maize ( <i>Zea mays</i> L.) na mokro, mają wysoką zawartość lizyny i metioniny	herbicyd	działa poprzez hydrolizę białek prowadzoną przez drobnoustroje glebowe, w trakcie której tworzy się szereg różnych fitotoksycznych dipeptydów, uniemożliwiając normalny rozwój korzeni
Kapsaicyna	alkaloid, pozyskiwany z roślin papryki <i>Capsicum annuum</i> w tym papryki chili	repelent, insektycyd, akarycyd, rodentyceyd	powoduje zaburzenia metaboliczne, uszkodzenia błon i uszkodzenie układu nerwowego, ma również działanie fizyczne – odstrasżające
Karwon	terpen rozpowszechniony w przyrodzie, wraz z limonenem główny składnik olejku kminkowego, występuje w mięcie zielonej, otrzymywany z olejku kminkowego lub przez parową destylację nasion kminku <i>Carum carvi</i>	insektycyd, fungicyd, akarycyd, ogranicza kiełkowanie roślin	hamuje wzrost komórek
Kwas cytrynowy bezwodny	ekstrahowany z owoców cytrusowych	fungicyd, bakteriocyd, inne	niewyjaśniony sposób działania
Kwas pelargonowy	estry olejku eterycznego otrzymywanego z pelargonii i innych roślin z rodziny <i>Geraniaceae</i>	herbicyd, adiuwant	działanie kontaktowe fitotoksyczne

Nazwa związku	Pochodzenie	Spektrum działania	Sposób działania
Kwasyna	laktony pozyskiwane z drewna różnych gatunków drzew tropikalnych <i>Quassia amara</i> (gorzklka właściwa) i <i>Picrasma excelsa</i> z rodziny bieguncznikowate <i>Simaroubaceae</i>	insektycyd, akarycyd	działa na układ nerwowy owada, przede wszystkim przez wdychanie, działanie owadobójcze jest powolne, powoduje u ofiar stopniowe spowalnianie aktywności, aż do wystąpienia paraliżu i w rezultacie do śmierci
Lakton klonowy	estry hydrokwasów ekstrahowane bezpośrednio z drzew klonu	insektycyd, atraktant, feromon	charakteryzuje się zapachem wabiącym owady (atraktant)
Linalol	terpen otrzymywany z olejków eterycznych: linalowego, kolendrowego, pomarańczowego i innych, produkowany jest przez rośliny jasnotowate (bazylia, mięta), wawrzynowate (wawrzyn, cynamon) i rutowate (cytrusy), a także brzozy	insektycyd, repelent, substancja weterynaryjna	trucizna kontaktowa dla owadów, związek neurotoksyczny
Matrine	alkaloid pozyskiwany z korzeni <i>Sophora flavescens</i> , liści <i>Pterocarya stenoptera</i> i olejku eterycznego z liści <i>Platycladus orientalis</i>	insektycyd, nematocyd, bakteriocyd	działa na centralny układ nerwowy szkodników powodując zahamowanie oddychania i zaburzenia równowagi ruchowej, środek profilaktyczny i interwencyjny
Milsana	ekstrakt organiczny z rdestowca sachalińskiego ( <i>Reynoutria sachalinensis</i> )	fungicyd	stosowany profilaktycznie, wywołuje niespecyficzną oporność na niektóre choroby grzybowe, składniki aktywne są naturalnymi elicytorami fitoaleksyn, które indukują naturalny układ odpornościowy rośliny
Nepetalakton	terpen izolowany z rośliny kocimiętki ( <i>Nepeta cataria</i> ), występujący także w drewnie wiciokrzewu ( <i>Lonicera tatarica</i> )	insektycyd, feromon, repelent	działanie kontaktowe repelentne

Nazwa związku	Pochodzenie	Spektrum działania	Sposób działania
Nikotyna	Alkaloid pirydynowy występujący w liściach i korzeniach tytoniu szlachetnego ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) izolowany też z innych roślin z rodziny <i>Lycopodiaceae</i> , <i>Grassulaceae</i> , <i>Leguminosae</i>	insektycyd	szerokie spektrum działania, szybko działająca toksyna nerwowa, działanie oddechowe, kontaktowe i żołądkowe, zakazana w UE od 2009 r.
Oktanian sacharozy	estry sacharozy izolowane z włosków liści tytoniu	insektycyd, akarycyd, inne	działa na oskórek owadów, powodując wysuszenie
Olej jojoba	ciekły wosk otrzymywany z nasion krzewu simondsii kalifornijskiej, znanej też jako jojoba ( <i>Simmondsia chinensis</i> )	insektycyd, fungicyd, repelent	tworzy fizyczną barierę między szkodnikiem a powierzchnią liścia, pozbawia jaja owadów, larwy i zarodniki grzybów tlenu, odstrasza owady
Olej rzepakowy	ekstrakt roślinny z nasion rzepaku roślin <i>Brassica napus</i> lub <i>Brassica campestris</i>	insektycyd, inne	niewyjaśniony sposób działania, ale uważany za środek drażniący owady
Olej rzepakowy	pozyskiwany z nasion rzepaku	insektycyd	nietoksyczny – działanie odpychające i duszące
Olej słonecznikowy	pozyskiwany z roślin słonecznika zwyczajnego <i>Helianthus annuus</i>	insektycyd, fungicyd	nietoksyczny – działanie odpychające i duszące
Olej z panganu (karanjin)	flawanoid ekstrahowany z pongamu ( <i>Pongamia pinnata</i> , produkcja na skalę przemysłową ze zmielonych nasion	insektycyd, akarycyd, fungicyd, nematocydy	posiada właściwości antyżywniowe (antyfidant) i repelentne
Olejek eteryczny anyżowy	Pozyskiwany z roślin badiana właściwego, (anyżu gwiazdkowego) <i>Illicium verum</i>	insektycyd, akarycyd, repelent	działanie kontaktowe i repelentne

Nazwa związku	Pochodzenie	Spektrum działania	Sposób działania
Olejek eteryczny cytronelowy	ekstrakt roślinny pozyskiwany z liści i łodyg różnych gatunków palczatki <i>Cymbopogon</i>	herbicyd, insektycyd, fungicyd, repelent	szerokie spektrum działania, repelent i środek kontaktowy; jego silny, charakterystyczny zapach utrudnia niektórym szkodnikom zlokalizowanie żywiciela; znany repelent komarów, wszy i innych owadów sanitarnych; obecnie jako środek odstraszący zakazany w UE
Olejek eteryczny drzewa herbacianego	pozyskiwany jest przez destylację parową z łodyg i liści melaluki skrętołistej, drzewa herbacianego ( <i>Melaleuca alternifolia</i> )	fungicyd	olejek z drzewa herbacianego wydaje się zaburzać barierę przepuszczalności struktur błon komórkowych drobnoustrojów, powodując utratę kontroli osmochemicznej
Olejek eteryczny eukaliptusowy	Pozyskiwany z liści drzewa eukaliptusa cytrynowego <i>Eucalyptus citriodora</i>	insektycyd, repelent	odstrasza owady gryzące, blokując lub zakłócając miejsca receptorowe
Olejek eteryczny goździkowy	ekstrakt roślinny pozyskiwany przez destylację parową z liści czapetki pachnącej (goździkowca korzennego) <i>Eugenia caryophyllus</i> (syn. <i>Syzygium aromaticum</i> )	insektycyd, herbicyd, fungicyd, rodentydy	nieselektywny środek kontaktowy powoduje rozpad struktury komórkowej
Olejek eteryczny jaśminowy (jasmonen)	pozyskiwany z kwitów jaśminu ( <i>Jasminum</i> )	repelent, atraktant, insektycyd	indukuje system odpornościowy u roślin, pełni bezpośrednie role sygnalizacyjne u mszyc szkodników jaśminu, przyciąga drapieżniki i pasożytniki mszyc
Olejek eteryczny miętowy	bogaty w terpeny, substancje taninowe i żywiczne, otrzymywany przez destylację parową świeżych części nadziemnych kwitnącej rośliny mięty pieprzowej <i>Mentha piperita</i>	bakteriocyd, fungicyd, insektycyd	hamuje wzrost komórek

Nazwa związku	Pochodzenie	Spektrum działania	Sposób działania
Olejek eteryczny pomarańczowy	ekstrakt roślinny ze skórki pomarańczowej	insektycyd, repelent, adjuwant, substancja weterynaryjna	działanie odstrasżające
Olejek eteryczny rozmarynowy	zawiera cyneol, pinen, cymen, borneol oraz kwas rozmarynowy, pozyskiwany z rozmarynu lekarskiego <i>Rosmarinus officinalis</i>	insektycyd	środek drażniący i duszący
Olejek eteryczny sosnowy	destylacja parowa z igieł, gałęzi i szyszek różnych gatunków sosny, głównie <i>Pinus sylvestris</i> , w jego skład wchodzi przede wszystkim alkohole drugorzędowe i trzeciorzędowe oraz monoterpeny	insektycyd, akarycydy, fungicyd, herbicyd, inne	środek kontaktowy, żrący
Olejek eteryczny z czarnego pieprzu	ekstrakt roślinny z suszu nasion pieprzu uzyskany przez destylację parową	insektycyd, repelent	odstrasza zwierzęta poprzez podrażnienie po dotknięciu lub spróbowaniu produktu
Prekocen II	związek pochodzący z jednorocznej rośliny rabatowej żeniszka lekarskiego <i>Ageratum houstonianum</i>	insektycyd, fungicyd	skraca cykl rozwoju owadów, dając zmminiaturyzowane osobniki dorosłe, niezdolne do reprodukcji, zakłóca gospodarkę hormonalną
Pyretryny	estry, pochodne kwasu pyretrynowego i chryzantemowego oraz alkohole, uzyskiwane z roślin należących do rodzaju złocień <i>Chrysanthemum (Pyrethrum)</i> lub wrotycz ( <i>Tanacetum</i> ), a szczególnie gatunku wrotycz dalmatyński, który zawiera 1–1,5% pyretryny	insektycyd, akarycydy, substancja weterynaryjna	insektycyd kontaktowy, atakuje w krótkim czasie układ nerwowy owadów, które już po kilku minutach tracą zdolność koordynacji ruchów i stopniowo ulegają paraliżowi, działanie toksyczne jest krótkotrwałe, w preparatach dostępnych w handlu dodaje się zazwyczaj składniki synergizujące, między innymi piperonylo-butoksyd, który zwiększa skuteczność pyretronu przez hamowanie oksydazy (=MFO) owada, w ten sposób zostaje zablokowany system odpowiadający za detoksyfikację pyretryny

Nazwa związku	Pochodzenie	Spektrum działania	Sposób działania
Rotenon	alkaloid występujący w różnych roślinach z rodziny motylkowych, należących do rodzaju <i>Derris</i> , <i>Lonchocarpus</i> i <i>Tephrosia</i> , uzyskiwany przede wszystkim z korzeni za pomocą rozpuszczalników lub wody, w postaci żywicy, w której procentowa zawartość rotenonu wynosi od 2% do 40%, w zależności od metody ekstrakcji	insektycyd, akarycyd, repelent, substancja weterynaryjna	selektywny, działa kontaktowo i żołądkowo, na układ nerwowy, hamując mitozę, i jako inhibitor łańcucha oddechowego, jest także skuteczny jako preparat odstraszający, działający nawet przez kilka tygodni
Sanguinarina	substancja ekstrahowana z wielu roślin, w tym krwawnika i argemону meksykańskiego <i>Argemone mexicana</i>	fungicyd, bakteriocyd, insektycyd, akarycyd	indukuje uwalnianie enzymów autolitycznych związanych z błoną komórkową, co ostatecznie prowadzi do lizy komórki
Sarmentyna	amid izolowany z owoców pieprzu <i>Piper</i>	herbicyd	działanie fitotoksyczne, wypalanie
Strychnina	alkaloid występujący w nasionach kulczyby wroniego oka <i>Strychnos nux-vomica</i> , lub innych roślin z rodziny <i>Loganiaceae</i>	rodentycyd, owicyd	neurotoksyna, antagonist neuroprzekaźnika glicyny, działa na rdzeń kręgowy
Tymol	terpenoid, składnik olejków eterycznych występujących w macierzance (tymianku), lebidocie (oregano) i cząbrze	insektycyd, fungicyd, antyseptyk, biocyd, substancja weterynaryjna	kontaktowy, zakłóca aktywność receptorów neuroprzekaźnikowych, repelenty dla kręgowców, toksyczny dla mikroorganizmów
Verbenon	terpen pochodzenia roślinnego znaleziony w hiszpańskiej werbenie i olejku rozmarynowym	insektycyd, feromon, repelent, bakteriocyd	–
Weratryna	alkaloid pozyskiwany z roślin sabadylli lekarskiej, kichawca lekarskiego <i>Schoenocaulon officinale</i>	insektycyd, akarycyd	działanie kontaktowe, które aktywuje kanał sodowy błon nerwowych owadów
Zeatyna	hormon roślinny należący do cytokinin, izolowany z ziaren słodkiej kukurydzy ( <i>Zea mays</i> )	nematocydy	–

Źródło: opracowanie własne.

W rolnictwie ekologicznym krajów rozwiniętych powszechnie przyjęta jest praktyka samodzielnego sporządzania pestycydów botanicznych. Środki takie mogą też działać jako biostymulatory. Z wielu roślin, w tym ruderalnych, według określonych przepisów można sporządzać wyciągi, odwary, napary, wywary i gnojówki w celu uzyskania naturalnych środków ochrony roślin. Wyciąg roślinny (dla ekologów również nastój) sporządza się ze świeżego lub suszonego zieleń zalewanego zimną wodą, co pozostawia się na ok. 12–24 godziny, aż do wytworzenia lekkiej pianki. Przecedzony wyciąg najlepiej użyć tego samego dnia, gdyż po tym czasie następuje jego fermentacja. Odwar otrzymuje się, zalewając świeży lub wysuszony materiał roślinny zimną wodą na 24 godziny. Po tym czasie odwar należy podgrzać do wrzenia i stosować po wystudzeniu. Wywar otrzymuje się tak jak odwar, z tym że po 24 godzinach należy go gotować 20–30 minut. Sporządzenie naparu polega na zalaniu świeżych lub suszonych roślin wrzącą wodą i pozostawieniu pod przykryciem na 20–30 minut do wystygnięcia. Napar, podobnie jak wyciąg, należy wykorzystać jeszcze tego samego dnia.

Gnojówkę wykonuje się poprzez zalanie świeżego zieleń zimną wodą, najlepiej deszczówką. Naczynie, które jest do tego wykorzystywane, może być drewniane, kamionkowe lub plastikowe, ale nie metalowe. Fermentacja zieleń powinna odbywać się w warunkach tlenowych, z tego względu gnojówkę należy przynajmniej raz dziennie dokładnie wymieszać. Podczas fermentacji wydzielają się nieprzyjemny zapach, który można złagodzić, dodając mączki skalnej. Cały proces fermentacji trwa w zależności od pogody 2–4 tygodnie (w wyższej temperaturze przebiega szybciej), a jego zakończenie można rozpoznać po klarowności preparatu, który przestaje się pienić. Sposób sporządzenia środka jest ważny, gdyż decyduje o składzie i sposobie działania. Najpopularniejsze w Polsce rośliny, z których sporządza się środki ochrony roślin w rolnictwie ekologicznym, to pokrzywa zwyczajna, skrzyp polny, żywokost lekarski, wrotycz pospolity, bylica piołun, cebula i czosnek. Przykłady preparatów sporządzanych z pokrzywy zwyczajnej przedstawiono w tabeli 7.7. Liczne materiały dotyczące domowej produkcji pestycydów, zalecanych szczególnie rolnikom ekologicznym i do ogrodów przydomowych, można znaleźć w internecie.

**Tabela 7.7.** Środki ochrony roślin, które można sporządzić samodzielnie z pokrzywy zwyczajnej, w tym do stosowania w uprawach ekologicznych

Preparat/rozcieńczenie	Działanie	Stosowanie
Gnojówka nierozcieńczona	przyspiesza rozkład materii organicznej	polewać wielokrotnie kompost
Gnojówka 1:10–20	wzmaga wzrost roślin	polewać glebę i opryskiwać rośliny w okresie wegetacji
Gnojówka 1:10–20	zapobiega chorobom grzybowym i szkodnikom	polewać glebę wczesną wiosną po mrozach
Gnojówka 1:20	chlorozy, mszyce, przędziorki	opryskiwać rośliny przed ruszeniem pąków
Gnojówka fermentująca 1:50 (4–5-dniowa)	mszyce, tarczники, miseczniki, przędziorki	opryskiwać zwłaszcza drzewa owocowe trzykrotnie w ciągu 10 dni przed tworzeniem się pąków i kwiatów
Wyciąg nierozcieńczony (1 kg świeżych lub 200 g suchych roślin na 10 l wody)	mszyce, przędziorki	opryskiwać rośliny zapobiegawczo i w czasie pojawu szkodników
Wywar 1:5 (proporcje jak dla wyciągu)	chowacze łądugowe, chowacz szczypiarak	opryskiwać rośliny wczesną wiosną
Napar 1:3 (proporcje jak dla wyciągu)	przy zmieszaniu w 1/3 z bylicą piołunem lub wrotyczem chroni przed pachówką strąkówieczką	opryskiwać rośliny co dwa tygodnie przez trzy dni podczas pojawienia się owadów

Źródło: opracowanie własne.

Pestycydy botaniczne charakteryzując się tak licznymi zaletami, że nawet zwolennicy produktów syntetycznych nie mogą tego zignorować. Najważniejszym pozytywnym aspektem ich stosowania jest pełne bezpieczeństwo środowiskowe. Przeciwnicy tych środków ochrony roślin wskazują, że mogą one zawierać nieselektywne substancje działające negatywnie na organizmy niebędące przedmiotem zwalczania, ale liczne badania naukowe wykazały bardzo korzystny wpływ wielu substancji aktywnych pestycydów botanicznych na organizmy pożyteczne. Substancje czynne tych środków są naturalnymi metabolitami wtórnymi roślin, a ich pozostałości są szybko i łatwo degradowane przez mechanizmy naturalne. Dotyczy to w pełni produktów, w których nie stosuje się nośników, emulgatorów, adiuwantów lub innych substancji pomocniczych. Należy pamiętać, że niektóre związki pochodzenia roślinnego (np. strychnina) mogą być trujące dla kręgowców, ale ich zakres i sposób stosowania są tak określone, aby nie narażały zwierząt, w tym ludzi, na niebezpieczeństwo. Produkty oparte



na ekstraktach roślinnych zwykle zawierają synergicznie działające mieszane substancje czynnych o różnorodnych mechanizmach działania, co zapobiega rozwojowi odporności w populacji szkodników. Badania naukowe wskazują, że w porównaniu z uprawami chronionymi środkami syntetycznymi w uprawach traktowanych ekstraktami roślinnymi obserwuje się znacznie większą bioróżnorodność, w tym częstotliwość zapylaczy i wrogów naturalnych szkodników. Wydaje się, że pestycydy botaniczne powinny zająć ważną pozycję na rynku, ale istnieją pewne ograniczenia, do których zaliczono:

- problemy z pozyskaniem odpowiedniego materiału roślinnego – często rośliny bogate w substancje czynne są niezwykle trudne w uprawie, co stwarza problemy, aby zapewnić wystarczającą ilość wysokiej jakości materiału do produkcji pestycydów botanicznych;
- brak działań wspierających upowszechnienie pestycydów botanicznych jako prośrodowiskowej alternatywy pestycydów syntetycznych, kosztowną i długą rejestrację w krajach UE, traktowanie związków pochodzenia roślinnego identycznie jak produktów syntetycznych, mimo że liczne substancje aktywne biopestycydów to takie same substancje jak powszechnie stosowane herbaty ziołowe lub przyprawy;
- nieliczne badania, których celem byłyby poprawa skuteczności i trwałości pestycydów botanicznych stosowanych praktycznie.

Pomimo to przewiduje się, że udział pestycydów botanicznych w globalnym rynku pestycydów może wzrosnąć w niedalekiej przyszłości nawet do 7%, w odniesieniu do dotychczasowego bardzo niskiego udziału wynoszącego maksymalnie 2%. Bardzo ważne wydaje się również upowszechnianie wiedzy na ich temat, w tym umiejętności samodzielnego produkowania pestycydów botanicznych. Powinny one być wdrażane do innych niż ekologiczny systemów rolnictwa, w szczególności do integrowanych programów zwalczania agrofagów w uprawach owoców i warzyw o wysokiej wartości, a także do zwalczania szkodników sanitarnych gospodarstw domowych i obiektów użyteczności publicznej. Powinny również mieć znaczący udział w rolnictwie na terenach zurbanizowanych, którego popularność i znaczenie stale wzrasta (Pavela 2016).

## (2) Makroorganizmy

Pierwsze doniesienie o skutecznej ochronie przed szkodnikami za pomocą ich wrogów naturalnych (określanych jako makroorganizmy pomimo swoich raczej mikroskopijnych wymiarów) pochodzi z Anglii z 1927 r. Zastosowano wówczas dobrotnicę szklarniową *Encarsia formosa* Gahan (*Hymenoptera: Aphelinidae*) pasożytującą pluskwiaka – mączlika szklarniowego, *Trialeurodes vaporariorum*

(Westwood) (*Homoptera: Aleyrodidae*) w uprawie pomidora. Autor artykułu opracował technologię masowej hodowli i rozprowadzał *E. formosa* w kilku krajach Europy. Hodowla była prowadzona do 1949 r., kiedy to – tak jak w przypadku innych biologicznych środków ochrony roślin – odstąpiono od tego na rzecz nowych, bardzo skutecznych pestycydów syntetycznych, w tym DDT, czego katastrofalne skutki środowiskowe są już powszechnie znane. Wówczas nie zwracano jeszcze szczególnej uwagi na konsekwencje środowiskowe, ale pojawił się dość szybko problem uodparniania się szkodników na substancje aktywne pestycydów syntetycznych. Pod koniec lat 50. XX w. odporność na pestycydy u przędziorka chmielowca *Tetranychus urticae* Koch (*Acari: Tetranychidae*) stała się tak znacząca, że nawet bardzo częste stosowanie pestycydów syntetycznych nie chroniło efektywnie upraw.

W 1960 r. odkryto w Niemczech, na storczykach importowanych z Chile, bardzo skutecznego drapieżcę przędziorków – dobroczynka szklarniowego *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (*Acari: Phytoseiidae*). Drapieżne roztocza okazały się na tyle skuteczne w zabijaniu roślinożernych roztoczy, że opracowano technologię ich masowej hodowli. Uprawa warzyw w Europie Zachodniej i Kanadzie chroniona z udziałem dobroczynników, gdzie wykazano wiele korzyści, spowodowała w ciągu kilku lat znaczące upowszechnienie się walki z roztoczami metodą biologiczną. Do 1970 r. większość upraw ogórków pod osłonami w Europie Zachodniej i Kanadzie była skutecznie chroniona z wykorzystaniem *P. persimilis*. W przypadku mączlika szklarniowego problem z jego zwalczaniem wynikający z odporności na pestycydy syntetyczne pojawił się pod koniec lat 60. XX w. Spowodowało to powrót do komercyjnej hodowli *E. formosa* odzyskanej z ogrodu botanicznego w Anglii. Już w połowie lat 70. ubiegłego wieku zwalczanie mączlików przez dobrotnicę szklarniową w uprawach pomidorów stało się powszechne. Te dwa przykłady historyczne są do chwili obecnej sztan-dardowymi metodami ochrony biologicznej stosowanej w zwalczaniu owadów z użyciem tzw. makroorganizmów, a dobroczynek szklarniowy zdominował rynek biopestycydów na bazie makroorganizmów (globalnie 12% tych produktów zawiera ten makroorganizm).

Paradoksalnie upowszechnienie ochrony biologicznej przeciwko przędziorkom i mączlikom skutkowało wzrostem znaczenia innych, dotychczas marginalnych szkodników upraw warzyw pod osłonami, np. wciornastków, mszyc i miniarek. Początkowo poszukiwano metod integracji ochrony biologicznej i chemicznej, ale szczególnie w przypadku dobrotnicy były to działania nieskuteczne. Rozpoczęto więc badanie populacji wrogów naturalnych innych owadów uszkadzających uprawy, ale dopiero pod koniec lat 80. XX w. zdołano opracować pełne programy ochrony biologicznej, stosując w nich np. drapieżne roztocza *Amblyseius* spp., *Neoseiulus* spp. (*Acari: Phytoseiidae*) i pluskwiaki *Orius*

spp. (*Heteroptera: Anthocoridae*) przeciwko wciornastkom *Thrips tabaci*; parazytoidy *Aphidius* spp. (*Hymenoptera: Braconidae*) i drapieżniki *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (*Diptera: Cecidomyiidae*) przeciwko mszycom oraz parazytoidy *Dacnusa sibirica* Telenga (*Hymenoptera: Braconidae*) i *Diglyphus isaea* (*Hymenoptera: Eulophidae*) przeciwko larwom muchówek minujących liście.

Parazytoidy to organizmy (najczęściej owady), które pasożytują na innych organizmach, powodując śmierć swojego żywiciela, co w przypadku typowego pasożyta jest niepożądane (typowy pasożyt żywi się kosztem innego organizmu, ale nie skutkuje to jego szybką i nieuniknioną śmiercią). Parazytoidy można więc ocenić w grupie oddziaływań antagonistycznych pomiędzy organizmami jako organizmy pośrednie między drapieżcami a pasożytami. Parazytoidy, należące do rzędów muchówek i błonków z podrzędu *Parasitica*, składają swoje jaja w różne stadia rozwojowe organizmów innego gatunku (jaja, larwy, poczwarki lub osobniki dorosłe). Rozwijające się z jaj larwy parazytoidów żywią się kosztem organizmu swojego gospodarza. W odróżnieniu od większości drapieżców parazytoidy wykazują silną specjalizację, co w kontekście ochrony biologicznej jest ważną zaletą.

Wstępnie opracowane metody ochrony polegały na stosowaniu wrogów naturalnych szkodników już od początku sezonu wegetacyjnego, po pojawieniu się pierwszych szkodników. Często taka taktyka okazywała się nieskuteczna, gdyż populacja szkodnika rozwijała się szybciej niż populacja owada pożytecznego. W związku z tym opracowano nowe strategie nazywane metodą dryblingu i roślin – banków. Pierwsza metoda polegała na wstępnej hodowli w uprawie małej liczby szkodnika przed uwolnieniem owadów pożytecznych, aby zapewnić prawidłowy rozwój populacji wrogów naturalnych. Druga metoda opierała się na wprowadzaniu we właściwe uprawy innych roślin z ich szkodnikami tzw. roślin banków. Przykładem mogą być trawy lub zboża z małą populacją mszyc zbożowych rozmieszczane w uprawach warzyw. Gatunki mszyc zbożowych nie uszkadzają warzyw, ale są pasożytowane przez owady pożyteczne i mogą podtrzymywać populację owadów pożytecznych do czasu pojawienia się mszyc żerujących na warzywach. Strategie dryblingu i roślin – banków pozostają w użyciu do chwili obecnej.

W połowie lat 80. XX w. nastąpił również przełom w ochronie biologicznej upraw roślin ozdobnych, kiedy to wdrożono wiele skutecznych technologii ochrony chryzantem, róż, gerbery i poinsecji w licznych krajach Europy i świata. Postęp w tej dziedzinie był jednak znacznie słabszy niż w uprawach warzyw z powodu niskiej szkodliwości owadów; braku okresów karencji i progów pozostałości obowiązujących dla ochrony tych roślin środkami syntetycznymi oraz ogromnej różnorodności gatunków roślin ozdobnych w uprawie (w samej Europie ponad 400).

Już na początku obecnego stulecia okazało się, że efektywna ochrona biologiczna upraw warzyw i roślin ozdobnych pod osłonami na całym świecie jest stosowana na 15 tys. ha z całkowitej powierzchni 300 tys. ha. W globalnym handlu można obecnie znaleźć ok. 115 gatunków tzw. makroorganizmów do ochrony takich upraw (Enkegaard i Brødsgaard 2006). Kluczowe czynniki sukcesu wykorzystania makroorganizmów w uprawach pod osłonami to (Michaud 2018):

- mała różnorodność biologiczna zawartych agroekosystemów (uprawy osłonięte),
- utrudnione rozprzestrzenianie się szkodników i czynników biologicznego zwalczania,
- ciągle utrzymanie sprzyjających warunków środowiskowych do rozwoju organizmów pożytecznych,
- brak konkurentów i wrogów naturalnych czynnika biologicznego zwalczania,
- brak alternatywnej ofiary/żywiwiela, które mogłyby odciągnąć drapieżnika/pasożyta od szkodnika docelowego.

F.J. Sáenz-de-Cabezón i in. (2014), badając bazy patentowe w celu wyszukania patentów powiązanych z makroorganizmami biologicznej ochrony roślin, stwierdzili, że ich liczba jest umiarkowana i wynosi 170 od 1975 r., ale na początku obecnego wieku prace zintensyfikowano i prawie połowa tych patentów była zgłoszona w latach 2005–2009. Patenty dotyczyły wszystkich aspektów produkcji, dystrybucji i stosowania środków biologicznych na bazie makroorganizmów. Dwie najliczniej reprezentowane grupy czynników biologicznego zwalczania to pasożytnicze błonkówki (28% patentów) i drapieżne roztocza (25% patentów). Pozostałe bardziej znaczące grupy to pluskwiaki i chrząszcze (po 6% patentów), sieciarki (3%) oraz muchówki (1%). 20% patentów dotyczyło zwalczania gąsienic motyli, a kolejnymi grupami szkodników były chrząszcze (6%), mszyce (4%), muchówki (2%) oraz pluskwiaki i roztocze (po 1%). Podsumowując, autorzy stwierdzili, że rozwój procesów patentowych związany z makroorganizmami zapowiada znaczący rozwój tych technik ochrony i wprowadzanie na rynek nowych, ulepszonych, skuteczniejszych technik.

Termin „makroorganizmy w biologicznej ochronie roślin” odnosi się do stosowania parazytoidów lub drapieżców stawonogów, czyli wrogów naturalnych szkodników, których technologię masowej hodowli i aplikacji udało się opracować. Są to liczne gatunki stawonogów, przede wszystkim drapieżne roztocza, pasożytnicze błonkówki (parazytoidy) oraz drapieżne chrząszcze lub inne owady. Najefektywniej działają one, zwalczając szkodniki upraw pod osłonami, ale występuje też kilka gatunków do zastosowań w uprawach polowych.

Na podstawie najnowszych danych naukowych należy przyznać, że introdukcja wrogów naturalnych jest z ekologicznego i ekonomicznego punktu widzenia w pełni opłacalna i uzasadniona jedynie w warunkach kontrolowanych, czyli w uprawach pod osłonami.

Biorąc pod uwagę tożsamość gatunkową, opracowanie biologicznego środka na bazie makroorganizmu wydaje się proste – drapieżnik lub parazytoid są skutecznym naturalnym wrogiem danego szkodnika, czyli aksjomatycznie można założyć, że zwiększenie liczebności gatunku pożytecznego spowoduje zwalczanie szkodnika w danym rejonie. W uprawach polowych zjawisko zależności międzygatunkowej jest bardzo skomplikowane i zależne nie tyle od samej obecności gatunków, ile od wielu interakcji pomiędzy składowymi całego agroekosystemu. Komercyjna masowa hodowla przebiegająca w optymalnych warunkach rozwoju dla gatunku pożytecznego w przypadku uwolnienia go do środowiska może nie spełniać oczekiwań ze względu na układ czynników biotycznych i abiotycznych, które nie będą w pełni korzystne, lub nawet mogą okazać się niekorzystne. Istnieją również potencjalnie niekorzystne konsekwencje „domieszki genetycznej” gatunków wprowadzanych do populacji lokalnej, nie mówiąc już o wpływie masowego zagrożenia konkurencyjnym populacjom lokalnym. Sztandarowym przykładem tego, że wszelkie modyfikacje negatywnie wpływają na naturalnie występujące populacje tego samego lub innych pożytecznych gatunków, jest biedronka azjatycka *Harmonia axyridis* w Europie. Obecnie postuluje się, aby jeżeli potencjał agroekosystemu do naturalnego kontrolowania określonego szkodnika w jego zasięgu geograficznym słabnie, dążyć do zrozumienia czynników ograniczających naturalną reakcję lokalnej populacji owadów pożytecznych, zamiast uwalniać masowo hodowane, odległe i niedostosowane populacje. Jedna nieudana introdukcja (taka jak w przypadku biedronki azjatyckiej) może poczynić też znaczące szkody w zrozumieniu i odbiorze ochrony biologicznej w społecznościach lokalnych (Michaud 2018).

Należy przyznać, że w historii biologicznej ochrony roślin występowały przypadki udanych introdukcji, czego przykładem jest udomowienie ośca korórkowego *Aphelinus mali* (*Hymenoptera: Aphelininae*) – naturalnego wroga bawełnicy korówki *Eriosoma lanigerum* (*Hemiptera: Aphididae*) w Polsce. Europejska i Śródziemnomorska Organizacja Ochrony Roślin (European and Mediterranean Plant Protection Organization – EPPO) wykazała, że w ramach tzw. klasycznej biologicznej ochrony roślin udało się pomyślnie wprowadzić do agroekosystemów jedynie 33 gatunki pasożytniczych błonkówek, 8 gatunków chrząszczy i jeden gatunek pożytecznej muchówki. W porównaniu z liczbą potencjalnych szkodników występujących w Europie jest to liczba znikoma.

Obecnie w przypadku zwalczania szkodników upraw polowych duże znaczenie praktyczne można przypisać właściwie jedynie dwóm wrogom naturalnym

– dobroczynkom, czyli drapieżnikom fitofagicznych roztoczy, a przede wszystkim przedziorków i małych owadów introdukowanym w sadach produkcyjnych, winnicach i uprawach roślin rolniczych, oraz kruszynkom – parazytoidom jaj motyli, a przede wszystkim omacnicy prosowianki, introdukowanym w uprawach kukurydzy i innych roślin rolniczych.

Parazytoidy jaj (oofagi) należące do błonkówek z rodziny kruszynkowate (*Hymenoptera: Trichogrammatidae*) są prawdopodobnie grupą owadów najbardziej nadającą się do programów interwencyjnej, biologicznej ochrony roślin. Już bardzo dawno opracowano technologię taniej, łatwej, powtarzalnej produkcji kruszynek w dużych ilościach. Pasożytowanie szkodników jest w przypadku kruszynek bardzo korzystne, gdyż błonkówki te składają własne jaja do jaj szkodników, które zostają całkowicie zniszczone, a więc szkodniki są eliminowane w okresie, zanim nastąpią jakiegokolwiek uszkodzenia roślin powodowane przez kolejne stadium rozwojowe (larwę). Środki na bazie różnych gatunków *Trichogramma* spp. stosowane przeciwko omacnicy prosowiance od wielu lat skutecznie zastępują syntetyczne insektycydy na dużych obszarach upraw polowych kukurydzy i innych zbóż na całym świecie. Stwierdzono, że agroekosystemy radzą sobie z dużą populacją kruszynek, nawet znacznie większą niż populacje występujące naturalnie. Techniki aplikacji kruszynek w uprawach polowych to rozrzucanie poczwerek błonkówek hodowanych w laboratorium (najczęściej są to pasożytowane przez kruszynka szkodniki przechowalnicze) w specjalistycznych małych pojemnikach ulegających otwarciu pod wpływem wilgoci. Pojemniki mogą być rozrzucane z użyciem dronów lub agrokopterów. W uprawie z poczwerek rozwijają się osobniki dorosłe, a samice po zapłodnieniu rozpoczynają wyszukiwanie jaj szkodników i składają do nich własne jaja. Larwy kruszynek pasożytują jaja, a w uprawie nie pojawiają się stadia szkodliwe, czyli gąsienice motyli. Efektywność kruszynek w uprawie polowej kukurydzy nigdy nie była jednak na tyle wystarczająca, aby całkowicie wyprzeć stosowanie syntetycznych środków owadobójczych. Wynika to najprawdopodobniej z faktu, że kukurydza w wielu rejonach świata jest uprawiana jako rozległa monokultura. Dodatkowo od czasu pojawienia się upraw transgenicznych Bt, które są zasadniczo odporne na omacnicę prosowiankę, zainteresowanie kruszynkami znacznie spadło.

Roztocze należące do rodziny dobroczynkowate *Phytoseiidae* to ponad 2700 gatunków występujących naturalnie na całym świecie. Podobnie jak dla upraw pod osłonami są to w uprawach polowych globalnie najczęściej stosowane makroorganizmy. Wykorzystuje się je do zwalczania roztoczy fitofagicznych oraz małych owadów, np. wciornastków lub pluskwiaków. Efektywne metody hodowli dobroczynników opracowano już w latach 70. XX w. Jako pożywienie dobroczynników wykorzystywane są namnażane w insektariach roztocza, ale skutecznym i tanim źródłem pożywienia dla niektórych dobroczynników jest też pyłek

roślin. Introdukcja dobroczynków na małych obszarach jest najczęściej wykonywana ręcznie. Znane są też techniki uwolnienia drogą powietrzną, z użyciem zamglawiaczy plecakowych lub specjalistycznych dmuchaw. Ta różnorodność w zakresie spektrum działania i sposobów aplikacji powoduje, że dobroczynki są najczęściej stosowanymi makroorganizmami w biologicznej ochronie roślin (McMurtry i in. 2015).

Wykaz gatunków stosowanych w biopestycydach zawierających makroorganizmy przedstawiono w tabeli 7.8.

**Tabela 7.8.** Wybrane ważniejsze gatunki w podziale na grupy (parazytoidy, drapieżcy) stosowane lub posiadające potencjał biologicznego czynnika zwalczania szkodników roślin zaliczane do makroorganizmów

Grupa	Gatunek	Zwalczane szkodniki
Parazytoid jaj (oofagi)	<i>Anagrus atomus</i>	pluskwiaki, w tym <i>Hauptida maraccana</i> , <i>Arboridia kermanshah</i> , <i>Empousca decipiens</i> , <i>Eupteryx mellissae</i>
	<i>Trichogramma brassicae</i>	motyle, w tym <i>Ostrinia nubilalis</i> , <i>Mamestra brassicae</i> i <i>Helicoverpa armigera</i>
	<i>Trichogramma evanescens</i>	motyle, w tym <i>Ostrinia nubilalis</i> , <i>Helicoverpa zea</i> i <i>Helicoverpa armigera</i>
	<i>Trichogramma minutum</i>	motyle, w tym <i>Cydia pomonella</i>
Parazytoidy larw lub poczwerek	<i>Anagrus fusciventris</i>	mączliki
	<i>Anagrus pseudococci</i>	mączliki
	<i>Aphelinus abdominalis</i>	mszyce, w tym <i>Macrosiphum euphorbiae</i>
	<i>Aphidius colemani</i>	mszyce, w tym <i>Aphis gossypii</i> i <i>Myzus persicae</i>
	<i>Aphidius ervi</i>	mszyce, w tym <i>Acyrtosiphon pisum</i> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i> , <i>Myzus persicae</i>
	<i>Aphidius matricariae</i>	mszyce, w tym <i>Myzus persicae</i> i <i>Myzus nicotianae</i>
	<i>Aphytis diaspidis</i>	tarczники
	<i>Aphytis holoxanthus</i>	tarczники
	<i>Aphytis lingnanensis</i>	tarczники
	<i>Aphytis melinus</i>	tarczники
	<i>Cales noacki</i>	mączliki, w tym <i>Aleurothrixus floccosus</i>
	<i>Coccophagus lycimnia</i>	tarczники
<i>Coccophagus rusti</i>	tarczники	

Grupa	Gatunek	Zwalczane szkodniki
Parazytoidy larw lub poczwerek	<i>Coccophagus scutellaris</i>	tarczniki
	<i>Comperiella bifasciata</i>	tarczniki, w tym <i>Aonidiella aurantii</i> i <i>Aonidiella citrina</i>
	<i>Cotesia glomerate</i>	motyle, w tym <i>Pieris rapae</i> i <i>Trichoplusia ni</i>
	<i>Cotesia marginiventris</i>	motyle
	<i>Dacnusa sibirica</i>	miniarki, wiele gatunków, w tym <i>Liriomyza bryoniae</i> , <i>Liriomyza huidobrensis</i> , <i>Liriomyza trifolii</i> i <i>Phytomyza syngenesiae</i>
	<i>Diglyphus isaea</i>	miniarki, wiele gatunków, w tym <i>Liriomyza trifolii</i> , <i>Liriomyza bryoniae</i> , <i>Liriomyza huidobrensis</i> i <i>Liriomyza sativae</i>
	<i>Encarsia citrina</i>	tarczniki
	<i>Encarsia Formosa</i>	mączliki, w tym <i>Trialeurodes vaporariorum</i>
	<i>Encarsia tricolor</i>	mączliki
	<i>Eretmocerus eremicus</i>	mączliki, w tym <i>Bemisia tabaci</i> , <i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Bemisia argentifolii</i>
	<i>Eretmocerus mundus</i>	mączliki
	<i>Lysiphlebus fabarum</i>	mszyce
	<i>Lysiphlebus testaceipes</i>	mszyce, w tym <i>Aphis gossypii</i>
	<i>Metaphycus bartletti</i>	tarczniki
	<i>Metaphycus flavus</i>	tarczniki
	<i>Metaphycus helvolus</i>	tarczniki
	<i>Metaphycus lounsburyi</i>	tarczniki
	<i>Metaphycus swirskii</i>	tarczniki
	<i>Microterys flavus</i>	tarczniki
	<i>Opius pallipes</i>	miniarki
<i>Praon volucre</i>	mszyce	
<i>Pseudaphycus angelicus</i>	mączliki	
<i>Pseudaphycus flavidulus</i>	mączliki	
<i>Pseudaphycus maculipennis</i>	mączliki	
<i>Thripobius semiluteus</i>	wciornastki	



Grupa	Gatunek	Zwalczane szkodniki
Drapieżne pluskwiaki	<i>Anthocoris nemorum</i>	mszyce i wciornastki
	<i>Dicyphus hesperus</i>	mączliki, roztocze i wciornastki
	<i>Dicyphus tamaninii</i>	mączliki i wciornastki
	<i>Geocoris punctipes</i>	mszyce, mączliki, roztocze i wciornastki
	<i>Macrolophus caliginosus</i>	mączliki
	<i>Macrolophus pygmaeus</i>	mączliki
	<i>Orius albidipennis</i>	wciornastki
	<i>Orius insidiosus</i>	wciornastki
	<i>Orius laevigatus</i>	wciornastki
	<i>Orius majusculus</i>	wciornastki
	<i>Orius minutes</i>	wciornastki
	<i>Orius strigicollis</i>	wciornastki
	<i>Orius tricolor</i>	wciornastki
Drapieżne muchówki	<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	mszyce
	<i>Feltiella acarisuga</i>	roztocze
	<i>Episyrphus balteatus</i>	mszyce
	<i>Coenosia attenuata</i>	muchówki, miniarki, mączliki
Drapieżne sieciarki	<i>Ceraeochrysa cubana</i>	mszyce, mączliki
	<i>Chrysoperla carnea</i>	mszyce
	<i>Chrysoperla rufilabris</i>	mszyce
	<i>Mallada signata</i>	mszyce, motyle, tarczники, mączliki
	<i>Symphorobius</i> sp.	mączliki

Grupa	Gatunek	Zwalczane szkodniki
Drapieżne biedronkowate	<i>Adalia bipunctata</i>	mszyce
	<i>Chilocorus baileyi</i>	tarczniki
	<i>Chilocorus bipustulatus</i>	tarczniki
	<i>Chilocorus circumdatus</i>	tarczniki
	<i>Chilocorus nigritus</i>	tarczniki
	<i>Clitostethus arcuatus</i>	mączliki
	<i>Coccinella septempunctata</i>	mszyce
	<i>Coleomegilla maculata</i>	mszyce, roztocze
	<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	mączliki, tarczniki, mszyce
	<i>Cybocephalus nipponicus</i>	tarczniki
	<i>Delphastus catalinae</i>	mączliki
	<i>Exochomus quadripustulatus</i>	tarczniki
	<i>Harmonia axyridis</i>	mszyce
	<i>Hippodamia convergens</i>	mszyce
	<i>Hippodamia variegata</i>	mszyce
	<i>Rhyzobius (Lindorus) lophanthae</i>	tarczniki
	<i>Rodolia cardinalis</i>	tarczniki
	<i>Scymnus (Nephus) reunioni</i>	mączliki
<i>Scymnus rubromaculatus</i>	mszyce	
<i>Stethorus punctillum</i>	roztocze	
Inne drapieżne chrząszcze	<i>Atheta coriaria</i>	muchówki, wciornastki
Drapieżne wciornastki	<i>Franklinothrips megalops</i>	wciornastki
	<i>Franklinothrips vespiformis</i>	wciornastki
	<i>Karnyothrips melaleucus</i>	wciornastki
	<i>Scolothrips sexmaculatus</i>	roztocze, wciornastki

Grupa	Gatunek	Zwalczane szkodniki
Drapieżne roztocze	<i>Amblyseius barkeri</i>	wciornastki
	<i>Amblyseius fallacies</i>	roztocze
	<i>Hypoaspis aculeifer</i>	roztocze, muchówki
	<i>Hypoaspis (Stratiolaelaps) miles</i>	roztocze, muchówki
	<i>Iphiseius degenerans</i>	wciornastki
	<i>Mesoseiulus longipes</i>	roztocze
	<i>Metaseiulus occidentalis</i>	roztocze
	<i>Neoseiulus (Amblyseius) californicus</i>	roztocze
	<i>Neoseiulus (Amblyseius) cucumeris</i>	wciornastki
	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	roztocze
	<i>Typhlodromips montdorensis</i>	wciornastki
	<i>Typhlodromips swirskii</i>	wciornastki, mączliki
<i>Typhlodromus doreenae</i>	roztocze	

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Enkegaard i Brødsgaard 2006.

Stosunkowo odrębną grupą makroorganizmów stosowanych w biopestycydach są nicienie owadobójcze. Pomimo swoich mikroskopijnych rozmiarów nie są one organizmami jednokomórkowymi, a więc większość systematyk zalicza je obecnie do makroorganizmów. W bioinsektycydach praktycznie wykorzystuje się dwa rodzaje nicieni: *Steinernema* i *Heterorhabditis*. Służą one przede wszystkim do zwalczania szkodników glebowych lub szkodników pieczarkarni. Najnowsze biopestycydy na ich bazie są przeznaczone do zwalczania szkodników upraw rolniczych (kukurydza) oraz uciążliwych owadów gospodarstw domowych (np. mrówek) lub do zwalczania szkodników w przechowalniach.

Są to nicienie glebowe o rozmiarach 400–800  $\mu\text{m}$  czynnie wyszukujące owadów żywicielskich, do wnętrza których przedostają się przez naturalne otwory ciała. W hemocelu nicienie uwalniają bakterie *Xenorhabdus* i *Photorhabdus*, z którymi żyją w związku mutualistycznym. Bakterie namnażają się i wydzielają wiele toksyn i enzymów hydrolitycznych, które są odpowiedzialne za śmierć owadów w ciągu 24–48 godzin. Przyczyną śmierci owadów jest więc posocznica (sepsa) powodowana przez namnożenie się bakterii, którymi to następnie

odżywiają się nicieniem. Zdolność do transferu bakterii mają larwy inwazyjne nicieni, które przenoszą je w małych pęcherzykach znajdujących się w jelitach. Właśnie udana izolacja bakterii mutualistycznych nicieni, łatwa ich hodowla i wykorzystanie ich jako źródło pożywienia dla nicieni w produkcji umożliwiła komercjalizację wielu gatunków tych entomopatogenów. *Steinernema* i *Heterorhabditis* mają bardzo szeroki zakres żywicieli wśród ważnych ekonomicznie szkodników i są bezpieczne dla środowiska. Bioinsektycydy na ich bazie mogą być aplikowane z użyciem konwencjonalnego sprzętu do zabiegów chemicznych (Abate i in. 2017). Wykaz najważniejszych gatunków nicieni stosowanych w bioinsektycydach przedstawia tabela 7.9.

**Tabela 7.9.** Gatunki nicieni z rodzaju *Steinernema* i *Heterorhabditis* stosowane w komercyjnych bioinsektycydach i szkodniki, które są nimi zwalczane

Gatunek	Spectrum praktycznie zwalczanych szkodników
<i>H. bacteriophora</i>	ogólnie: larwy glebowe, kleszcze, mrówki, termity, pchełki ziemne, wciornastki, wełnowce szkodniki zwalczane zarejestrowanymi środkami chrząszcze z rodz. poświętnikowatych ( <i>Scarabaeidae</i> ), w tym ogrodnica niszczylistka <i>Phyllopertha horticola</i> , kopyciak <i>Hoplia</i> spp., plug <i>Aphodius</i> spp., jedwabek brunatny <i>Serica brunnea</i> , popilia japońska <i>Popillia japonica</i> , guniak <i>Rhizotrogus</i> spp., <i>Exomala orientalis</i> , ich larwy pędraki chrząszcze z rodz. stonkowatych ( <i>Chrysomelidae</i> ), w tym stonka kukurydziana <i>Diabrotica virgifera</i> , stonka ziemniaczana <i>Leptinotarsa decemlineata</i> chrząszcze z rodz. ryjkowcowatych ( <i>Curculionidae</i> ), w tym opuchlak truskawkowiec <i>Otiorhynchus sulcatus</i> , słonkowiec orzechowiec <i>Curculio (Balaninus) nucum</i> motyle z rodz. zwojkowatych ( <i>Tortricidae</i> ), w tym pachówka żołędzioweczka <i>Cydia splendana</i> , pachówka bukwioweczka <i>Cydia fagiglandana</i>
<i>S. feltiae</i>	ogólnie: larwy muchówek, wciornastki, termity, gąsienice rolnic, mątwiki szkodniki zwalczane zarejestrowanymi środkami muchówki z rodz. ziemiórkowatych ( <i>Sciariidae</i> syn. <i>Lycoriidae</i> ), muchówki z rodz. koziułkowatych, komarnicowatych ( <i>Tipulidae</i> ), muchówki z rodz. miniarkowatych ( <i>Agromyzidae</i> ), muchówki z rodz. śmietkowatych ( <i>Anthomyiidae</i> ), muchówki z rodz. wodarkowatych ( <i>Ephydriidae</i> ), wywilżnowate, wywilżankowate ( <i>Drosophilidae</i> ) owocówka jabłkóweczka <i>Cydia pomonella</i> wciornastek zachodni <i>Frankliniella occidentalis</i> opuchlak truskawkowiec <i>Otiorhynchus sulcatus</i> śmietka cebulanka <i>Delia antiqua</i> stonka kukurydziana <i>Diabrotica virgifera</i> omacnica prosowianka <i>Ostrinia nubilalis</i>

Gatunek	Spectrum praktycznie zwalczanych szkodników
<i>S. carpocapsae</i>	ogólnie: larwy chrząszczy i muchówek, gąsienice motyli, prostoskrzydłe, termyty, mrówki szkodniki zwalczane zarejestrowanymi środkami <i>Paysandisia archon</i> owocówka jabłkowieczka <i>Cydia pomonella</i> owocówka południowieczka <i>Cydia molesta</i> rolnice <i>Agrotis</i> spp. motyle z rodz. omacnicowatych ( <i>Pyralidae</i> ), w tym <i>Duponchelia fovealis</i> <i>Duponchelia fovealis</i> <i>Chrysoteuchia topiaria</i> mól bananowy <i>Opogona sacchari</i> turkuć podjadek <i>Gryllotharpa gryllotharpa</i> muchówki z rodz. koziołkowatych, komarnicowatych ( <i>Tipulidae</i> ) muchówki z rodz. wodarkowatych ( <i>Ephydriidae</i> ) <i>Rhynchophorus ferrugineus</i> <i>Capnodis tenebrionis</i> chrząszcze z rodz. kózkowatych ( <i>Cerambycidae</i> ) szeliniak sosnowy, szeliniak sosnowiec <i>Hyllobius abietis</i>
<i>S. kraussei</i>	ogólnie: larwy chrząszczy opuchlak truskawkowiec <i>Otiorhynchus sulcatus</i> i inne gatunki z rodzaju opuchlak <i>Otiorhynchus</i>
<i>H. indica</i>	ogólnie tak jak <i>H. bacteriophora</i>
<i>S. glaseri</i>	ogólnie: larwy chrząszczy glebowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Abate i in. 2017.

Makroorganizmy stanowią obecnie najważniejszą grupę bioherbicydów do zwalczania roślin inwazyjnych w środowisku. Do 2012 r. ponad 90% z 468 czynników wykorzystanych na świecie w biologicznym zwalczaniu roślin inwazyjnych stanowiły makroorganizmy. Udział poszczególnych grup makroorganizmów przedstawiał się następująco (Winston i in. 2014):

- 193 gatunki chrząszczy (41% z puli wszystkich zastosowanych gatunków),
- 124 gatunki motyli (27%),
- 56 gatunków muchówek (12%),
- 36 gatunków pluskwiaków (8%),
- 10 gatunków błonkówek (2%),
- 10 gatunków roztoczy (2%),
- 4 gatunki wciornastków (1%).

Biologiczne zwalczanie roślin inwazyjnych nie jest metodą popularną, ale jest to strategia uznana już na całym świecie jako bardzo korzystne podejście do

walki z niektórymi, najbardziej kłopotliwymi gatunkami. Europa, jeżeli chodzi o stosowanie tej techniki, pozostaje daleko w tyle w porównaniu z innymi rejonami świata. Przykładami takiej strategii zastosowanymi w Europie są jedynie:

- chrząszcz *Stenopelmus rufinusus* (Coleoptera: Curculionidae) wykorzystany do zwalczania ognisk paproci dryfującej gatunku azolla drobna (karolińska) *Azolla filiculoides* (rodz. Salviniaceae);
- pluskwiak czerwiec kaktusowy *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae), stosowany na stosunkowo dużą skalę do zwalczania sukulentu opuncji figowej *Opuntia ficus-indica* (rodz. Cactaceae);
- chrząszcza *Ophraella communa* (Coleoptera: Chrysomelidae) niszczącego ambrosję bylicolistną *Ambrosia artemisiifolia* (rodz. Asteraceae), ekspansywną roślinę stwarzającą problemy w wielu krajach Europy, mającą bardzo silne działanie alergizujące.

Prowadzone były również próby w zwalczaniu innych problematycznych roślin, ale nie odnotowano w tych przypadkach znaczącego sukcesu (Shaw i in. 2018).

Makroorganizmy stosowane w biologicznej ochronie roślin mogą być skuteczną alternatywą ochrony chemicznej. Wymienione liczne zalety makroorganizmów mogłyby wskazywać, że metody tego typu powinny być powszechne w użyciu. Realnie są to nadal metody mało skomercjalizowane, a niektóre z nich (bioherbicydy) nie są stosowane w praktyce rolniczej. Lista gatunków EPPO wykorzystywanych do interwencyjnego zwalczania biologicznego szkodników roślin obejmuje obecnie 49 gatunków pasożytniczych błonkówek, 16 gatunków drapieżnych roztoczy, 14 gatunków drapieżnych chrząszczy, osiem gatunków drapieżnych pluskwiaków, siedem gatunków pasożytniczych nicieni, cztery gatunki drapieżnych muchówek, cztery gatunki drapieżnych wciornastków i jeden gatunek siatkoskrzydłych, a większość z nich jest stosowana w uprawach pod osłonami. Większość tych pożytecznych owadów/nicieni jest zdolna zabijać ważne gospodarczo szkodniki, w przypadku których zwalczanie chemiczne jest często mało skuteczne, np. ze względu na:

- specyfikę rozwoju – szkodniki glebowe lub małe szkodniki o bardzo szybkim cyklu rozwojowym dające nawet kilkanaście pokoleń w ciągu roku,
- specyfikę sposobu uszkodzania roślin – szkodniki kłująco-ssące o małych rozmiarach, których zwalczanie chemiczne okazuje się skuteczne jedynie przy dużych dawkach środków systemicznych,
- szybkie nabierania odporności na substancje aktywne pestycydów chemicznych.

Rozwój komercjalizacji makroorganizmów byłby korzystny z wielu względów.

Omówiona szeroka gama bioproduktów spełnia wszelkie wymagania stawiane środkom produkcji zrównoważonego rolnictwa. Stosowanie bioproduktów może zapobiegać nadmiernemu wykorzystywaniu syntetycznych chemicznych środków produkcji, które – jak wskazują liczne badania – w wielu aspektach działają niekorzystnie na zdrowie ludzi i na środowisko nie tylko w skali lokalnej, ale też globalnej. Oczywiście bioprodukty wdrażane do praktyki powinny być przebadane i spełniać wszelkie wymagania bezpieczeństwa z zachowaniem obowiązujących standardów dla wszelkich substancji lub organizmów wprowadzanych do środowiska.

Obecnie podstawowe założenia zrównoważonej intensyfikacji rolnictwa to:

- profilaktyczne zapobieganie stresom roślin w odniesieniu do wszelkich czynników biotycznych i abiotycznych agrocenoz;
- wykorzystywanie odpornych odmian dostosowanych do warunków lokalnych;
- wykorzystanie technologii rolnictwa precyzyjnego;
- profilaktyczna, bezpieczna ochrona roślin od najwcześniejszych faz rozwojowych prowadzona poprzez zaprawianie nasion, np. biostymulatorami i biopestycydami, uszlachetnianie gleby;
- optymalne wykorzystanie naturalnego systemu odpornościowego roślin, w tym zwiększenie odporności poprzez zastosowanie elicytorów, kairomonów;
- intensywny monitoring agrofagów z wykorzystaniem substancji lotnych specyficznych dla szkodników (np. feromony lub semiozwiązki), ale też roślin uwalniających substancje sygnałowe;
- wczesne wykrywanie agrofagów i interwencja w momencie przekroczenia progu ekonomicznej szkodliwości z wykorzystaniem w pierwszym rzędzie substancji naturalnych lub ich pochodnych czy też organizmów pożytecznych;
- masowe wychwytywanie szkodników, strategia *push-pull*;
- stały monitoring warunków klimatyczno-glebowych;
- monitoring zapotrzebowania na składniki pokarmowe;
- wykorzystanie nawozów naturalnych, organicznych, bionawozów;
- optymalizowanie warunków uprawy: właściwości podłoża, nawożenia, nawadniania.

Właściwie we wszystkich tych założeniach swój znaczący udział mogą mieć bioprodukty, zwłaszcza w systemie rolnictwa integrowanego. Organizacje działające na rzecz wdrażania metod biologicznych i naturalnych środków produkcji oceniają, że czynnikami mogącymi wpływać na znaczące upowszechnienie tego typu praktyk jest przede wszystkim globalne zapotrzebowanie na działania na rzecz ochrony środowiska, zachowania bioróżnorodności i bezpieczeństwa żywności, a z drugiej strony – wdrażanie prawa, które ma znacznie ograniczać stosowanie niebezpiecznych syntetycznych środków produkcji.

Międzynarodowe Stowarzyszenie Producentów Biologicznych Środków Ochrony Roślin (International Biocontrol Manufacturers Association – IBMA) ocenia, że firmy produkujące bioprodukty osiągnęły taki poziom rozwoju, że w najbliższej przyszłości znaczący wzrost produkcji i wykorzystania bioproduktów jest nieunikniony. Bioprodukty już stanowią istotną część integrowanej i ekologicznej produkcji roślin.

Na podstawie badań rynku pestycydów przewiduje się, że ochrona biologiczna stanie się w 2030 r. główną metodą ochrony upraw, a udział biopestycydów w globalnym rynku środków ochrony roślin będzie wynosił ponad 50%. Pozostałe bioprodukty, tj. bionawozy i biostymulatory, także stanowią znaczący sektor innowacyjnych środków produkcji, a rozwój tej branży będzie jeszcze bardziej dynamiczny ze względu na mniej restrykcyjną rejestrację stosowaną dla tego typu substancji. Zrównoważone rolnictwo, integrowana lub ekologiczna produkcja roślin, w tym ochrona biologiczna, nawożenie naturalne i biostymulacja roślin uprawnych – to nieunikniona droga rozwoju światowego rolnictwa.

## Literatura

- Abate B.A., Wingfield M.J., Slippers B., Hurley B.P. (2017), *Commercialisation of Entomopathogenic Nematodes: Should Import Regulations Be revised?*, „Biocontrol Science and Technology”, vol. 27(2).
- Abd El-Ghany N.M. (2019), *Semiochemicals for Controlling Insect Pests*, „Journal of Plant Protection Research”, vol. 59(1).
- Al-mazraawi M.S., Shipp J.L., Broadbent A.B., Kevan P.G. (2006a), *Dissemination of Beauveria Bassiana by Honey Bees (Hymenoptera: Apidae) for Control of Tarnished Plant Bug (Hemiptera: Miridae) on Canola*, „Environmental Entomology”, vol. 35.
- Al-mazraawi M.S., Shipp J.L., Broadbent A.B., Kevan P.G. (2006b), *Biological Control of Lygus Lineolaris (Hemiptera: Miridae) and Frankliniella Occidentalis (Thysanoptera: Thripidae) by Bombus Impatiens (Hymenoptera: Apidae) vectored Beauveria Bassiana in Greenhouse Sweet Pepper*, „Biological Control”, vol. 37.
- Bale J.S., van Lenteren J.C., Bigler F. (2007), *Biological Control and Sustainable Food Production*, „Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences”, vol. 363(1492).
- Baverstock J., Roy H.E., Pell J.K. (2010), *Entomopathogenic Fungi and Insect Behaviour: From Unsuspecting Hosts to Targeted Vectors*, „Biocontrol”, vol. 55.
- Birch A.N.E., Begg G.S., Squire G.R. (2011), *How Agro-ecological Research Helps to Address Food Security Issues under New IPM and Pesticide Reduction Policies for Global Crop Production Systems*, „Journal of Experimental Botany”, vol. 62.



- Błaszczyk L., Siwulski M., Sobieralski K., Lisiecka J., Jędryczka M. (2014), *Trichoderma spp. – Application and Prospects for Use in Organic Farming and Industry*, „Journal of Plant Protection Research”, vol. 54(4).
- Bravo A., Likitvivanavong S., Gill S.S., Soberón M. (2011), *Bacillus Thuringiensis: A Story of a Successful Bioinsecticide*, „Insect Biochemistry and Molecular Biology”, vol. 41.
- Butt T.M., Carreck N.L., Ibrahim L., Williams I.H. (1998), *Honey-bee-mediated Infection of Pollen Beetle (Meligethes aeneus Fab.) by the Insect-pathogenic Fungus, Metarhizium Anisopliae*, „Biocontrol Science and Technology”, vol. 8.
- Contreras-Cornejo H.A., Macías-Rodríguez L., del-Val E., Larsen J. (2016), *Ecological Functions of Trichoderma spp. and Their Secondary Metabolites in the Rhizosphere: Interactions with Plants*, „FEMS Microbiology Ecology”, vol. 92(4).
- Copping L.G., Menn J.J. (2000) *Biopesticides: A Review of Their Action, Applications and Efficacy*, „Pest Management Science”, vol. 56(8).
- Cordell D., Drangert J.O., White S. (2009), *The Story of Phosphorus: Global Food Security and Food for Thought*, „Global Environmental Change”, vol. 19(2).
- Dowd P.F., Vega F.E. (2003), *Autodissemination of Beauveria Bassiana by Sap Beetles (Coleoptera: Nitidulidae) to Overwintering Sites*, „Biocontrol Science and Technology”, vol. 13.
- Dunham M. (2017), *Biological Control Global Market Overview*. [http://wrrir4.ucdavis.edu/events/2017\\_SLR\\_Meeting/Presentations/GeneralPresentations/1%20Trimmer%20-%20Global%20Biocontrol%20Market%202017.pdf](http://wrrir4.ucdavis.edu/events/2017_SLR_Meeting/Presentations/GeneralPresentations/1%20Trimmer%20-%20Global%20Biocontrol%20Market%202017.pdf) (dostęp: 20.05.2019).
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/128/WE z dnia 21 października 2009 r., <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/128/2009-11-25> (dostęp: 28.05.2019).
- Elliot S.L., Sabelis M.W., Janssen A., van der Geest L.P.S., Beerling E.A.M., Fransen J. (2000), *Can Plants Use Entomopathogens as Bodyguards?* „Ecology Letters”, vol. 3.
- El-Wakeil N.E. (2013), *Botanical Pesticides and Their Mode of Act, ion*, *Gesunde Pflanzen*”, vol. 65(4).
- Enkegaard A., Brødsgaard H.F. (2006), *Biocontrol in Protected Crops: Is Lack of Biodiversity a Limiting Factor?*, [w:] *An Ecological and Societal Approach to Biological Control*, red. J. Eilenberg, H. Hokkanen, Progress in Biological Control, vol. 2. Springer, Dordrecht.
- Gellings C.W., Parmenter K.E. (2004), *Energy Efficiency in Fertilizer Production and Use*, [w:] *Efficient Use and Conservation of Energy*. UNESCO, red. C.W. Gellings, K.E. Parmenter, EOLSS.
- Gouda S., Kerry R.G., Das G., Paramithiotis S., Shin H.S., Patra J.K. (2018), *Revitalization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Development in Agriculture*, „Microbiological Research”, vol. 206.
- Gwynn R. (2014), *The Manual of Biocontrol Agents*, British Crop Protection Council, Alton, Hampshire, UK.
- Hadwiger L.A. (2013), *Multiple Effects of Chitosan on Plant Systems: Solid Science Orhype*, „Plant Science”, vol. 208.

- Halpern M., Bar-Tal A., Ofek M., Minz D., Muller T., Yermiyahu U. (2015), *The Use of Biostimulants for Enhancing Nutrient Uptake*, „Advances in Agronomy”, vol. 130.
- Harding D.P., Raizada M.N. (2015), *Controlling Weeds With Fungi, Bacteria and Viruses: A Review*, „Frontiers in Plant Science”, vol. 6.
- Harrison R., Hoover K. (2012), *Baculoviruses and Other Occluded Insect Viruses*, [w:] *Insect Pathology*, red. F. Vega, H. Kaya, Elsevier, Amsterdam.
- Helsel Z.R. (1992), *Energy and Alternatives for Fertilizer and Pesticide Use*, „Energy in Farm Production”, vol. 6.
- Hermosa R., Viterbo A., Chet I., Monte E. (2012), *Plant-beneficial Effects of Trichoderma and of Its Genes*, „Microbiology”, vol. 158.
- Hikal W.M., Baeshen R.S., Said-Al Ahl H.A.H. (2017), *Botanical Insecticide as Simple Extractives for Pest Control*, „Cogent Biology”, vol. 3(1).
- Hughes P.A., Stevens M.M., Park H.W., Federici B.A., Dennis E.S., Akhurst R. (2005), *Response of Larval Chironomus Tepperi (Diptera: Chironomidae) to Individual Bacillus Thuringiensis var. Israelensis toxins and toxin mixtures*, „Journal of Invertebrate Pathology”, vol. 88.
- Jardin P. du (2015), *Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation*, „Scientia Horticulturae”, vol. 196.
- Jaronski S.T. (2010), *Ecological Factors in the Inundative Use of Fungal Entomopathogens*, „Biocontrol”, vol. 55.
- Kabaluk T., Gazdik K. (2005), *Directory of Microbial Pesticides for Agricultural Crops in OECD Countries*, ss. 242.
- Karlson P., Lüscher M. (1959) *Pheromones A new term for a class of biologically active substances*. Nature. 1959,183:55–56.
- Katiyar D., Hemantaranjan A., Singh B. (2015), *Chitosan as a Promising Natural compound to Enhance Potential Physiological Responses in Plant: A Review*, „Indian Journal of Plant Physiology”, vol. 20.
- Konecka E., Kaznowski A., Baranek J. (2011), *Wykorzystanie bakterii Bacillus thuringiensis do produkcji bioinsektycydów*, „Postępy Mikrobiologii”, vol. 50(4).
- Lacey L.A., Grzywacz D., Shapiro-Ilan D.I., Frutos R., Brownbridge M., Goettel M.S. (2015), *Insect Pathogens as Biological Control Agents: Back to the Future*, „Journal of Invertebrate Pathology”, vol. 132.
- Lacey L.A., Thomson D., Vincent C., Arthurs S.P. (2008), *Codling Moth Granulovirus: A Comprehensive Review*, „Biocontrol Science and Technology”, vol. 18.
- Lonc E., Andrzejczak S. (2005), *Bioróżnorodność toksyn Bacillus thuringiensis i ich zastosowanie*, „Postępy Mikrobiologii”, vol. 44.
- McMurtry J.A., Sourassou N.F., Demite P.R. (2015), *The Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) as Biological Control Agents*, [w:] *Prospects for Biological Control of Plant Feeding Mites and Other Harmful Organisms, Progress in Biological Control*, red. D. Carrillo, G. de Moraes, J. Peña, vol 19, Springer.
- Michaud J.P. (2018), *Problems Inherent to Augmentation of Natural Enemies in Open Agriculture*, „Neotropical Entomology”, vol. 47(2).

- Mondal K.A.M.S.H., Selina P. (2000), *Insect Growth Regulators and Their Potential in the Management of Stored-Product Insect Pests*, „Integrated Pest Management Reviews”, vol. 5(4).
- Moscardi F., de Souza M.L., de Castro M.E.B., Moscardi M.L., Szewczyk B. (2011), *Baculovirus Pesticides: Present State and Future Perspectives*, [w:] *Microbes and Microbial Technology*, red. I. Ahmad, F. Ahmad, J. Pichtel, Springer, Dordrecht.
- Nahar P.B., Kulkarni S.A., Kulye M.S., Chavan S.B., Kulkarni G., Rajendran A., Yadav P.D., Shouche Y., Deshpande M.V. (2008), *Effect of Repeated in Vitro Subculturing on the Virulence of Metarhizium Anisopliae Against Helicoverpa Armigera (Lepidoptera: Noctuidae)*, „Biocontrol Science and Technology”, vol. 18.
- Ortiz-Urquiza A., Keyhani N.O. (2013), *Action on the Surface: Entomopathogenic Fungi versus the Insect Cuticle*, „Insects”, vol. 4.
- Pavela R. (2016), *History, Presence and Perspective of Using Plant Extracts as Commercial Botanical Insecticides and Farm Products for Protection against Insects – A Review*, „Plant Protection Science”, vol. 52.
- Pérez-Montaño F., Alías-Villegas C., Bellogín R.A., del Cerro P., Espuny M.R., Jiménez-Guerrero I., López-Baena F.J., Ollero F.J., Cubo T. (2014), *Plant Growth Promotion in Cereal and Leguminous Agricultural Important Plants: From Microorganism Capacities to Crop Production*, „Microbiological Research”, vol. 169(5–6).
- Pilon-Smits E.A.H., Quinn C.F., Tapken W., Malagoli M., Schiavon M. (2009), *Physiological Functions of Beneficial Elements*, „Current Opinion in Plant Biology”, vol. 12.
- Rose M.T., Patti A.F., Little K.R., Brown A.L., Jackson W.R., Cavagnaro T.R. (2014), *A meta-analysis and Review of Plant-growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture*, „Advances in Agronomy”, vol. 124.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) NR 1107/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin i uchylające dyrektywy Rady 79/117/EWG i 91/414/EWG.
- Sáenz-de-Cabezón F.J., Zalom F.G., López-Olguín J.F. (2014), *A Review of Recent Patents on Macroorganisms as Biological Control Agents*, „Recent Patents on Biotechnology”, vol. 4.
- Schnepf E., Crickmore N., Van Rie J., Lereclus D., Baum J., Feitelson J., Zeigler D.R., Dean D.H. (1998), *Bacillus Thuringiensis and Its Pesticidal Crystal Proteins*, „Microbiology and Molecular Biology Reviews”, vol. 62.
- Schütz L., Gattinger A., Meier M., Müller A., Boller T., Mäder P., Mathimaran N. (2018), *Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization – A Global Meta-Analysis*, „Frontiers in Plant Science”, vol. 8.
- Shah F.A., Ansari M.A., Prasad M., Butt T.M. (2007), *Evaluation of Black Vine Weevil (Otiorynchus sulcatus) Control Strategies using Metarhizium Anisopliae with Sublethal Doses of Insecticides in Disparate Horticultural Growing Media*, „Biological Control”, vol. 40.
- Shah F.A., Gaffney M., Ansari M.A., Prasad M., Butt T.M. (2008), *Neem Seed Cake Enhances the Efficacy of the Insect Pathogenic Fungus Metarhizium Anisopliae for the*

- Control of Black Vine Weevil, Otiiorhynchus Sulcatus (Coleoptera: Curculionidae)*, „Biological Control”, vol. 44.
- Shaw R. H., Ellison C.A., Marchante H., Pratt C.F., Schaffner U. Sforza R. Deltoro V. (2018), *Weed Biological Control in the European Union: From Serendipity to Strategy*, „Biological Control”, vol. 63(3).
- Singh M., Singh D., Gupta A., Pandey K.D., Singh P.K., Kumar A. (2019), *Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Application in Biofertilizers and Biocontrol of Phytopathogens*, [w:] *PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture*, red. A.K. Singh, A. Kumar, P.K. Singh, Woodhead Publishing.
- Stoytcheva M. (2011), *Pesticides in the Modern World – Effects of Pesticides Exposure*, InTech, Croatia.
- Subramanian S., Shankarganesh K. (2016), *Insect Hormones (as Pesticides)*, [w:] *Eco-friendly Pest Management for Food Security*, red. Omkar, Academic Press.
- Tofangsazi N., Arthurs S.P., Davis R.M.G. (2015), *Entomopathogenic Nematodes (Nematoda: Rhabditida: Families Steinernematidae and Heterorhabditidae)*, Entomology and Nematology Department, UF/IFAS Extension.
- Winston R.L., Schwarzlander M., Hinz H.L., Day M.D., Cock M.J.W., Julien M.H. (2014), *Biological Control of Weeds: A World Catalogue of Agents and Their Target Weeds*, 5th edn. FHTET-2014-04. USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Morgantown.
- Yew J.Y., Chung H. (2015), *Insect Pheromones: An Overview of Function, Form, and Discovery*, „Progress in Lipid Research”, vol. 59.
- Yun J.H., Seong Woon R., Tae Woong W., Mi-Ja J., Min-Soo K., Doo-Sang P., Changmann Y., Young-Do N., Yun-Ji K., Jung-Hye Ch., Joon-Yong K., Na-Ri S., Sung-Hee K., Won-Jae L., Jin-Woo B., Drake H.L. (2014), *Insect Gut Bacterial Diversity Determined by Environmental Habitat, Diet, Developmental Stage, and Phylogeny of Host*, „Applied and Environmental Microbiology”, vol. 80(17).

# DODATKI DO ŻYWNOSCI

## 8.1. Regulacje prawne w zakresie stosowania substancji dodatkowych do żywności

Rosnąca świadomość żywieniowa konsumentów, coraz powszechniejsze zainteresowanie zdrowym stylem życia oraz wzrost rozporządzalnych dochodów Polaków to tylko niektóre zjawiska przyczyniające się do wzrostu zainteresowania naturalnymi dodatkami do żywności. Pojawia się chęć nabywania produktów nisko przetworzonych, naturalnych, wolnych, o ile to tylko możliwe, od chemii spożywczej, których wartość biologiczna pozwoliłaby na zachowanie zdrowia i dobrej kondycji psychicznej i fizycznej konsumentów oraz optymalizowanie możliwości ludzkiego organizmu. Widoczny jest dynamiczny rozwój produktów w ramach tzw. *clean label*, czyli czystej etykiety, co wiąże się z eliminacją, a jeśli to niemożliwe, z ograniczeniem stosowania substancji dodatkowych, zwłaszcza syntetycznych, znakowanych symbolem E (Miśniakiewicz 2017, s. 389–391).

Naturalne dodatki do żywności pojawiają się nie tylko w ekskluzywnych produktach typu premium czy żywności nisko przetworzonej, ale też stają się podstawą do opracowywania nowych produktów żywnościowych w ramach żywności konwencjonalnej, często zaliczanych do żywności funkcjonalnej czy spersonalizowanej.

**Dodatek do żywności** (dozwolona substancja dodatkowa do żywności) jest to każda substancja, która w normalnych warunkach ani nie jest spożywana sama jako żywność, ani nie jest stosowana jako charakterystyczny składnik żywności, bez względu na swoją ewentualną wartość odżywczą, której celowe dodanie, ze względów technologicznych, do żywności w trakcie jej produkcji, przetwarzania, przygotowywania, obróbki, pakowania, przewozu lub przechowywania powoduje, lub można spodziewać się zasadnie, że powoduje, iż substancja ta lub jej produkty pochodne stają się bezpośrednio lub pośrednio składnikiem tej żywności. Definicja nie obejmuje substancji dodawanych w celu zachowania lub poprawienia wartości odżywczej produktu (rozporządzenie PE i Rady nr 1333/2008).

W związku z intensyfikacją produkcji rolnej, selekcją odmian i ras w celu zwiększania ich wydajności, wysokim stopniem przetwarzania żywności, co wiąże się z usuwaniem z niej w procesach technologicznych części wartościowych składników odżywczych, czy wreszcie ze złymi nawykami żywieniowymi konsumentów – naturalne dodatki do żywności wykorzystywane są coraz częściej do wzbogacania produktów w deficytowe składniki odżywcze. Ich użycie pozwala także na dostosowanie produktów konwencjonalnych do indywidualnych potrzeb poszczególnych grup konsumentów, m.in. kobiet dbających o dobrą kondycję fizyczną, mężczyzn zainteresowanych przyrostem masy ciała, seniorów chcących utrzymać możliwie długo sprawność fizyczną i psychiczną, osób o zwiększonej aktywności fizycznej zmierzających do maksymalizacji wydolności swojego organizmu, cierpiących na nietolerancje pokarmowe, odchudzających się, ludzi w specyficznych stanach fizjologicznych organizmu, np. ciąża, karmienie piersią, okres intensywnego wzrostu, rekonwalescencja. Stosowanie naturalnych dodatków do żywności, coraz powszechniej w formie nutraceutyków, jest też podstawą kreowania nowych segmentów żywności, jak żywność upiększająca (*beauty food*) czy poprawiająca nastrój (*mood food*) (Kostecka i in. 2017, s. 36).

**Nutraceutyk** to żywność lub substancja wyizolowana z produktu żywnościowego, która ma udowodnione działanie prozdrowotne w obszarze terapeutycznym lub profilaktyki zdrowia. Nutraceutyki mogą być otrzymywane z surowców roślinnych, zwierzęcych lub pochodzenia mikrobiologicznego, przy czym w praktyce większość z nich to substancje pochodzenia roślinnego, tzw. substancje fitochemiczne (Nasri i in. 2014, s. 1487).

Wykaz najważniejszych rozporządzeń regulujących stosowanie dodatków do żywności w Polsce zaprezentowano w tabeli 8.1.

**Tabela 8.1.** Wykaz rozporządzeń regulujących stosowanie dodatków do żywności w Polsce

**Szczegółowo stosowanie dodatków do żywności w Polsce regulują:**

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności (wersja podstawowa),
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności (wersja skonsolidowana maj 2016),
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/1776 z dnia 6 października 2016 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania sukralozy (E 955) jako wzmacniacza smaku w gumie do żucia z dodatkiem cukrów lub polioli,

- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/335 z dnia 27 lutego 2017 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania glikozydów stewiolowych (E 960) jako substancji słodzącej w niektórych wyrobach cukierniczych o obniżonej wartości energetycznej,
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/839 z dnia 17 maja 2017 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania azotynów (E 249–250) w „golonce peklowanej”,
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/871 z dnia 22 maja 2017 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania kwasu fosforowego – fosforanów – di- tri- i polifosforanów (E 338–452) w określonych surowych wyrobach mięsnych,
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/874 z dnia 22 maja 2017 r. zmieniające załącznik III do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania butanu (E 943a), izobutanu (E 943b) i propanu (E 944) w preparatach barwnikowych,
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/1270 z dnia 14 lipca 2017 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania węglanu potasu (E 501) w owocach i warzywach obranych, krojonych i rozdrobnionych,
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/1271 z dnia 14 lipca 2017 r. zmieniające załącznik III do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania dwutlenku krzemu (E 551) w azotanie potasu (E 252),
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2018/74 z dnia 17 stycznia 2018 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania kwasu fosforowego – fosforanów – di- tri- i polifosforanów (E 338–452) w zamrożonym mięsie na rożnie pionowym,
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2018/75 z dnia 17 stycznia 2018 r. zmieniające załącznik do rozporządzenia (UE) nr 231/2012 ustanawiającego specyfikacje dla dodatków do żywności wymienionych w załącznikach II i III do rozporządzenia (WE) nr 1333/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do specyfikacji dla celulozy mikrokrystalicznej (E 460 (i)):
  - Rozporządzenie Komisji (UE) 2018/97 z dnia 22 stycznia 2018 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania substancji słodzących w pieczywie cukierniczym i wyrobach ciastkarskich,
  - Rozporządzenie Komisji (UE) 2018/98 z dnia 22 stycznia 2018 r. zmieniające załączniki II i III do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 oraz załącznik do rozporządzenia Komisji (UE) nr 231/2012 w odniesieniu do sorbinianu wapnia (E 203),
  - Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) nr 1321/2013 z dnia 10 grudnia 2013 r. ustanawiające unijny wykaz dozwolonych produktów początkowych dla środków aromatyzujących dymu wędzarniczego przeznaczonych do użycia w takiej postaci w środkach spożywczych lub na ich powierzchni lub do produkcji pochodnych środków aromatyzujących dymu wędzarniczego.

**Stosowanie enzymów regulują:**

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1332/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie enzymów spożywczych, zmieniające dyrektywę Rady 83/417/EWG, rozporządzenie Rady (WE) nr 1493/1999, dyrektywę 2000/13/WE, dyrektywę Rady 2001/112/WE oraz rozporządzenie (WE) nr 258/97,
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1056/2012 z dnia 12 listopada 2012 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1332/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie enzymów spożywczych w odniesieniu do środków przejściowych.

**Stosowanie aromatów regulują:**

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1334/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie środków aromatyzujących i niektórych składników żywności o właściwościach aromatyzujących do użycia w oraz na środkach spożywczych oraz zmieniające rozporządzenie Rady (EWG) nr 1601/91, rozporządzenia (WE) nr 2232/96 oraz (WE) nr 110/2008 oraz dyrektywę 2000/13/WE (wersja podstawowa),
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1334/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie środków aromatyzujących i niektórych składników żywności o właściwościach aromatyzujących do użycia w oraz na środkach spożywczych oraz zmieniające rozporządzenie Rady (EWG) nr 1601/91, rozporządzenia (WE) nr 2232/96 oraz (WE) nr 110/2008 oraz dyrektywę 2000/13/WE (wersja skonsolidowana sierpień 2016),
- Rozporządzenie (WE) nr 2232/96 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 października 1996 r. ustanawiające wspólnotową procedurę dla substancji aromatycznych używanych lub przeznaczonych do użycia w lub na środkach spożywczych,
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/378 z dnia 3 marca 2017 r. zmieniające załącznik I do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1334/2008 w odniesieniu do niektórych substancji aromatycznych,
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/1250 z dnia 11 lipca 2017 r. zmieniające załącznik I do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1334/2008 w odniesieniu do usunięcia z unijnego wykazu substancji aromatycznej 4,5-epoksydec-2(trans)-enal.

**Kryteria czystości dla dodatków do żywności określają:**

- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 231/2012 z dnia 9 marca 2012 r. ustanawiające specyfikacje dla dodatków do żywności wymienionych w załącznikach II i III do rozporządzenia (WE) nr 1333/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady (wersja podstawowa),
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 231/2012 z dnia 9 marca 2012 r. ustanawiające specyfikacje dla dodatków do żywności wymienionych w załącznikach II i III do rozporządzenia (WE) nr 1333/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady (wersja skonsolidowana październik 2015),
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/1814 z dnia 13 października 2016 r. zmieniające załącznik do rozporządzenia (UE) nr 231/2012 ustanawiającego specyfikacje dla dodatków do żywności wymienionych w załącznikach II i III do rozporządzenia (WE) nr 1333/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do specyfikacji dla glikozydów stewiolowych (E 960),
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/324 z dnia 24 lutego 2017 r. zmieniające załącznik do rozporządzenia (UE) nr 231/2012 ustanawiającego specyfikacje dla dodatków do żywności wymienionych w załącznikach II i III do rozporządzenia (WE) nr 1333/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do specyfikacji dla zasadowego kopolimeru metakrylanu (E 1205).

**Stosowanie rozpuszczalników regulują:**

- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 4 września 2008 r. w sprawie rozpuszczalników ekstrakcyjnych, które mogą być stosowane w produkcji żywności,
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 lutego 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie rozpuszczalników ekstrakcyjnych, które mogą być stosowane w produkcji żywności.

Źródło: opracowanie własne.

Podstawowym aktem prawnym regulującym stosowanie substancji dodatkowych do żywności w Polsce jest Ustawa o bezpieczeństwie żywności i żywienia z 25 sierpnia 2006 r. z późn. zm. stanowiąca załącznik do



Obwieszczenia Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 6 czerwca 2019 r. (poz. 1252)<sup>17</sup>.

Na etapie wydawania zezwoleń na stosowanie substancji dodatkowych stosowane są:

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1331/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. ustanawiające jednolitą procedurę wydawania zezwoleń na stosowanie dodatków do żywności, enzymów spożywczych i środków aromatyzujących,
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 234/2011 z dnia 10 marca 2011 r. w sprawie wykonania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1331/2008 ustanawiającego jednolitą procedurę wydawania zezwoleń na stosowanie dodatków do żywności, enzymów spożywczych i środków aromatyzujących,
- Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) nr 562/2012 z dnia 27 czerwca 2012 r. zmieniające rozporządzenie Komisji (UE) nr 234/2011 odnośnie do danych szczegółowych niezbędnych do oceny ryzyka związanego z enzymami spożywczymi.

Ponowna ocena dodatków odbywa się na podstawie wytycznych Rozporządzenia Komisji (UE) nr 257/2010 z dnia 25 marca 2010 r. ustanawiającego program ponownej oceny dopuszczonych dodatków do żywności zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w sprawie dodatków do żywności.

## 8.2. Naturalne substancje dodatkowe dozwolone do stosowania w żywności

Grupa naturalnych dodatków do żywności obejmuje między innymi konserwanty, antyutleniające, substancje słodzące, teksturotwórcze, substancje smakowo-zapachowe i aromaty. Wraz z rozwojem przemysłu spożywczego, metod utrwalania żywności czy biotechnologii obserwuje się dynamiczny rozwój naturalnych dodatków do żywności (Alamgir 2017, Balciunas i in. 2013, s. 135–140, Kolanowski 2018, s. 235–240).

Konserwanty są to substancje, które służą utrwaleniu żywności, czyli zabezpieczeniu jej przed niekorzystnymi zmianami związanymi z zachodzącymi

---

<sup>17</sup> Szczegółowe dane dotyczące publikacji wymienionych poniżej aktów prawnych podano w wykazie literatury zamieszczonym na końcu tego rozdziału.

w niej procesami biochemicznymi, chemicznymi czy mikrobiologicznymi. W praktyce najliczniejszą grupę konserwantów stanowią związki zabezpieczające produkt przed zmianami wywołanymi rozwojem drobnoustrojów, a tym samym zapewniające bezpieczeństwo zdrowotne żywności. W przetwórstwie żywności w pierwszej kolejności stosuje się metody, które hamują rozwój drobnoustrojów, czyli suszenie, solenie, słodzenie, liofilizację, obniżanie pH, a następnie właśnie konserwanty. Do najpowszechniej i historycznie najdłużej stosowanych naturalnych substancji konserwujących należą sól kuchenna, cukier, ocet fermentacyjny, dwutlenek węgla, rośliny przyprawowe i zioła oraz substancje zawarte w dymie wędzarniczym. Stosowanie soli i cukru sprowadza się do używania fizycznych metod konserwowania żywności, przy czym sól kuchenna ma większą zdolność do ograniczania rozwoju drobnoustrojów niż cukier.

Chlorek sodu umożliwia rozpuszczanie białek mięśniowych, dzięki czemu zapewnia odpowiednią teksturę produktom mięsnym. W niskich stężeniach (2–3%) stymuluje rozwój bakterii kwasu mlekowego oraz hamuje rozwój niektórych bakterii gnilnych, poprawia konsystencję serów podpuszczkowych, poprawia jakość glutenu i przeciwdziała kruszeniu się miękiszu chleba. W wyższych koncentracjach, dzięki obniżeniu zawartości wody, ma działanie konserwujące. Zahamowanie działalności bakterii gnilnych następuje przy stężeniu 12–15%, a drożdży – powyżej 15%. Chlorek sodu bywa wykorzystywany do utrwalania mięsa, ryb, przetworów warzywnych.

Cukier (sacharozę) stosuje się do utrwalania przetworów owocowo-warzywnych, takich jak konfitury, dżemy i marmolady w stężeniu do 65%. Kwas octowy, przy czym do celów spożywczych dopuszcza się jedynie ocet fermentacyjny spożywczy, jest stosowany w wielu produktach, m.in. kiszonkach, przetworach owocowo-warzywnych, grzybowych jako substancja konserwująca i regulator kwasowości. Jest on skuteczny w zakresie dezaktywowania drożdży i bakterii, a w mniejszym stopniu pleśni (Hoffman 2018, s. 119).

W praktyce w przemyśle spożywczym do konserwowania żywności najpowszechniej stosuje się kwasy organiczne i ich sole otrzymywane w drodze syntezy chemicznej. Obok konserwantów chemicznych, np. azotynów, kwasów benzoowego, sorbowego czy propionowego i ich soli, które po przekroczeniu określonych dawek (niezależnie od tego, czy pochodzą z syntezy chemicznej, czy, co obecnie nieuzasadnione ekonomicznie, izolowane są z surowców naturalnych) mogą być toksyczne lub powodować zmiany cech sensorycznych żywności, coraz częściej stosuje się substancje pochodzenia biologicznego produkowane przez drobnoustroje i rośliny wyższe. Do tej grupy zalicza się:

- 1) **lizozym** – enzym pozyskiwany z mleka i jaj, zwłaszcza z białka jaja kurzego. Optimum jego działania to pH 4, a jego aktywność zanika w temp. 55°C i w środowisku alkalicznym. Lizozym zapobiega późnym wzdęciom serów,

zastępując stosowane w tym celu azotany, formalinę i jej związki. Charakteryzuje się silną aktywnością antibakteryjną wobec bakterii tlenowych. Uznany jest przez WHO/FAO za bezpieczny dla zdrowia człowieka. Może być stosowany do utrwalania niektórych napojów mlecznych, fermentowanych napojów winiarskich oraz wyrobów winiarskich gronowych (Zawirska-Wojtasik 2005, s. 47);

- 2) **bakteriocyny** – niskocząsteczkowe białka o udokumentowanej aktywności przeciwdrobnoustrojowej powszechnie wytwarzane przez bakterie fermentacji mlekowej (LAB). Były spożywane przez człowieka od czasów starożytnych wraz z fermentowaną żywnością, np. mlecznymi napojami fermentowanymi oraz kiszonkami warzywnymi. Jako białka są inaktywowane w przewodzie pokarmowym, dzięki czemu nie zakłócają równowagi mikrosystemu jelitowego człowieka. Dodatkowo nie akumulują się w środowisku naturalnym, a większość z nich, zwłaszcza tych o najsilniejszym działaniu bakteriobójczym w stosunku do bakterii chorobotwórczych, jest nieaktywna wobec bakterii wykorzystywanych do produkcji żywności fermentowanej i probiotycznej. Bakteriocyny nie mają swoistego smaku, zapachu i aromatu, są stabilne w środowisku o zróżnicowanym odczynie oraz cechują się dużą odpornością na wysokie temperatury, co pozwala na szeroki zakres ich stosowania w przetwórstwie. Efektywnie działają w niewielkich, nawet pikomolowych stężeniach, można je relatywnie łatwo wytwarzać na skalę przemysłową (Sip 2018). Współcześnie bakteriocyny stosowane są jako biokonserwanty żywności i dodatki do pasz, składniki preparatów biomedycznych w zwalczaniu drobnoustrojów antybiotykoopornych, środki terapeutyczne, np. w modulowaniu składu mikroflory jelitowej, preparaty antywirusowe, a nawet składniki preparatów wspomagających terapie antynowotworowe. Spośród wielu bakteriocyn LAB jako konserwanty żywności zaakceptowano dotąd cztery bakteriocyny. Są to: nizyna A, nizyna Z, pedicyna PA-1 i sakacyna P. Wiele innych bakteriocyn, przede wszystkim o działaniu listeriobójczym, czeka na legalizację. Najpowszechniej stosowana nizyna działa na bakterie Gram-dodatnie i stosowana jest jako konserwant w produkcji serów dojrzewających, niektórych deserów, bitej śmietany, sera *mascarpone*. Obecnie bardzo zaawansowane są prace nad wykorzystaniem bakteriocyn do tworzenia opakowań aktywnych i biodegradowalnych środków dezynfekcyjnych. Jedną z bakteriocyn, której stosowanie może przynieść wiele korzyści w przemyśle spożywczym, jest diwercyna. Działa ona bakteriobójczo na bakterie z gatunku *Listeria monocytogenes*, *Listeria innocua*, *Enterococcus faecalis* oraz niektóre szczepy bakterii *Clostridium tyrobutyricum* i *Carnobacterium piscicola*, co może być wykorzystane do ochrony produktów spożywczych przed zakażeniami bakteriami z rodzaju *Listeria*

w surowcach i przetworach mlecznych, mięsnych, rybnych i warzywnych (Ołdak i Zielińska 2017, s. 330);

- 3) **natamycyna** – związek należący do antybiotyków polienowych, otrzymywany z hodowli bakterii z rodzaju *Streptomyces*, np. *S. natalensis* lub *S. chattanoogaensis*, wykazuje silne działanie przeciwwgrzybiczne, stosowany w przemyśle spożywczym do utrwalania powierzchni krojonego sera;
- 4) **naturalne przyprawy i zioła** – dzięki zawartym w nich substancjom czynnym biologicznie wykorzystywane są w przetwórstwie żywności jako naturalne przeciwutleniacze i konserwanty. Nadają też produktom specyficzny smak, kolor czy aromat. Ziołowe surowce przyprawowe z powodzeniem mogą zastąpić mniej pożądane przez współczesnych konsumentów składniki żywności, jak sól, cukier i tłuszcz. Przykładowo (Markowska i in. 2015, s. 22–24, Shan i in. 2005, s. 7751–7756):
  - a) **goździki** – zawierają duże ilości związków fenolowych, m.in. eugenolu, który ma właściwości antyutleniające, zmniejsza aktywność enzymów, hamuje rozwój bakterii i drożdży, pozwalając na dłużej zachować świeżość żywności; w Polsce goździki są przede wszystkim znane jako przyprawa stosowana do konfitur i wyrobów cukierniczych,
  - b) **oregano** – czyli dziki majeranek, znany z atrakcyjnego aromatu wzbogacającego smak potraw, z uwagi na właściwości przeciwutleniające, antibakteryjne i przeciwwgrzybiczne może być także stosowany jako naturalny konserwant, m.in. w utrwalaniu surowego mięsa,
  - c) **szalwia** – dzięki obecności zawartych w niej tanin wykazuje działanie antyseptyczne i grzybobójcze pozwalając na dłużej zachować świeżość mięsa i serów,
  - d) **tymianek** – wykazuje właściwości przeciwutleniające i bakterio-bójcze. Dobrze sprawdza się w konserwowaniu mięsa, zwiększa też skuteczność innych substancji konserwujących.

Stosowanie konserwantów w postaci naturalnej we współczesnym przemyśle spożywczym jest jednak ograniczone, m.in. z uwagi na koszt ich pozyskania i nie do końca poznane interakcje z innymi składnikami żywności, w tym, przy większych stężeniach, działanie toksyczne na organizm człowieka.

Barwniki – służą przywróceniu naturalnej barwy produktu, która uległa pogorszeniu w wyniku procesów przetwarzania i utrwalania żywności, a także podniesieniu atrakcyjności i apetyczności danego produktu. Mogą być stosowane pod warunkiem, że nie wprowadzają konsumenta w błąd, zmieniając naturalną barwę produktu, i nie maskują niekorzystnych procesów, które w nim zachodzą (tab. 8.2.).

Obecnie barwniki naturalne wypierają barwniki syntetyczne i „identyczne z naturalnymi”, co jest bardzo pożądane przez konsumentów. Mają one

jednak na ogół wyższą cenę, mniejszą siłę barwiącą, są mniej odporne na działanie czynników atmosferycznych – światła, tlenu, temperatury, jonów metali. Dysponują też mniejszą gamą barw i mniejszą stabilnością, często charakterystycznym smakiem i zapachem, specyficznym dla surowca, z którego są pozyskiwane, modyfikujące cechy sensoryczne produktu finalnego. W większości przypadków są pozyskiwane na drodze ekstrakcji selektywnej barwników z naturalnych źródeł, którymi są środki spożywcze lub inne surowce jadalne. Odbywa się to na drodze procesów fizycznych lub chemicznych, które pozwalają uzyskać określoną substancję w postaci skoncentrowanej. Obecnie na znaczeniu zyskuje liofilizacja, która polega na odwodnieniu produktu przez sublimację, dzięki czemu następują mniejsze straty substancji czynnych, a produkt w większym stopniu zachowuje właściwości odżywcze i organoleptyczne. Jednocześnie dobrze zachowana struktura komórkowa pozwala na szybkie, ponowne uwodnienie produktu. Procesowi liofilizacji poddawane są owoce, warzywa, zioła, przyprawy, produkty mięsne, rybne, a także owoce morza.

Warto zauważyć, że również biotechnologia daje wiele możliwości pozyskiwania naturalnych karotenów, chlorofili, ksantofili, barwników niebieskich i czerwonych produkowanych przez algi i oddzielnie ekstrahowanych. Istnieje też możliwość syntetyzowania barwników przez mikroorganizmy, np. barwniki karotenoidowe.

Pomimo naturalnego pochodzenia barwników naturalnych stopień ich koncentracji i konsystencja najczęściej wykluczają możliwości stosowania ich w czystej postaci. Dlatego wszystkie barwniki spożywcze, w tym barwniki pochodzenia naturalnego, są traktowane jako dodatki do żywności i znakowane z użyciem symbolu E. Najpopularniejsze z nich to:

- E 100 kurkumina – ekstrakt z kłączy ostryżu długiego (kurkumy),
- E 120 koszenila – proszek pozyskiwany z pluskwiaka czerwca kaktusowego (*Dactylopius coccus*),
- E 140 chlorofile i chlorofiliny – zielony barwnik roślinny,
- E 160a karoteny – prowitamina A pochodzenia roślinnego lub mikrobiologicznego,
- E 160b annato (biksyna, norbiksyna) – wyciąg mieszaniny karotenoidów z drzewa tropikalnego,
- E 160d likopen – z grupy karotenów, ekstrahowany z pomidorów i czerwonych grejpfrutów,
- E 161b luteina – ksantofil, pochodna karotenoidowa pozyskiwana w drodze ekstrakcji z traw,
- E 162 betanina – otrzymywana w drodze ekstrakcji, np. z buraka,
- E 163 antocyjany – barwniki z grupy flawonoidów pochodzenia roślinnego.

Preparaty tych barwników są zaklasyfikowane do listy dodatków do żywności, między innymi ze względu na zastosowane zabiegi technologiczne umożliwiające ich wydobycie z naturalnych środków spożywczych lub innych jadalnych surowców, a także użycie substancji pomocniczych, takich jak: emulgatory, konserwanty i stabilizatory, rozszerzające ich zastosowanie technologiczne. Tak pozyskane preparaty barwiące można określić mianem „pochodzenia naturalnego”, jednak określenie ich zwrotem „naturalne” budzi wątpliwości.

Zupełnie inaczej sytuacja wygląda w przypadku liofilizatów. Są to w stu procentach naturalne produkty pozyskiwane z surowców niezawierających żadnych dodatków (Waszkiewicz-Robak 2018a, s. 111–116).

Użycie barwników pochodzenia naturalnego w produkcji żywności najczęściej jest deklaruwane na etykiecie poprzez użycie nazwy opisowej z pominięciem kodu E, w celu uwypuklenia naturalnego pochodzenia składników żywności. Warto podkreślić, że konsumenci w największym stopniu akceptują dodatki, których nazwa brzmi znajomo i które znają z własnej kuchni. Chemiczne nazwy nawet popularnych i od lat znanych dodatków są odbierane bardzo niekorzystnie.

Szczególne miejsce wśród naturalnych barwników ma żywność o właściwościach barwiących. Są to produkty, które powstały w wyniku nieselektywnej ekstrakcji umożliwiającej wydobycie wielu substancji, nie tylko tych o właściwościach barwiących, które można spożywać samodzielnie jako żywność. Obejmują one m.in. soki i koncentraty owocowe, warzywne lub inne roślinne niesklasyfikowane jako dodatek do żywności. Dla przykładu, sok z buraka wykorzystywany do barwienia produktów mlecznych nie jest uznawany za dodatek do żywności, ale już jego selektywny skoncentrowany ekstrakt w postaci betaniny, dodawany do jogurtu w celu jego zabarwienia, jest traktowany jako dodatek do żywności (E 162). Surowcem do uzyskania ekstraktów o właściwościach barwiących mogą być m.in. owoce, warzywa, zboża, rośliny strączkowe, a także charakterystyczne składniki żywności, takie jak: soki owocowe i warzywne, napary herbaty, kawy (granulowane, w proszku lub płynie), kakao, cukier karmelizowany, olej palmowy, zioła i przyprawy (np. szafran, kurkuma), żółtko jaja, atrament z kałamarnicy (sepia), sos sojowy, ekstrakt słodowy itp. Obecnie, jako żywność barwiąca najczęściej oferowane są koncentraty z owoców i warzyw lub innych roślin jadalnych, a wśród nich: koncentrat z aronii, czarnej lub pomarańczowej marchwi, porzeczki, czarnego bzu, buraka ćwikłowego, krokosza barwierskiego, spiruliny itp. (Zaręba i Ziarno 2017).

**Tabela 8.2.** Barwniki naturalne najczęściej stosowane w przemyśle spożywczym

<b>Barwniki izoprenoidowe – karotenoidy</b>
zidentyfikowano ponad 600 różnych karotenoidów, występują w owocach, warzywach i innych roślinach o barwie czerwonej, pomarańczowej, żółtej. W naturalnym środowisku powstaje rocznie na drodze biosyntezy 1000 mln ton karotenoidów; większość jest rozpuszczalna w tłuszczu, odporna na ogrzewanie i niewrażliwa na zmiany pH; stosowane są do barwienia margaryny, produktów mleczarskich i napojów bezalkoholowych
<b>Barwniki porfiryne – chlorofile</b>
chlorofil obecny we wszystkich zielonych roślinach liściastych, należy do najbardziej rozpowszechnionych naturalnych barwników roślinnych; ma barwę zieloną i jest rozpuszczalny w tłuszczu; pochodne chlorofilu – chlorofiliny są rozpuszczalne w wodzie i dość odporne na ogrzewanie i działanie światła; stosowany do wyrobów cukierniczych i produktów mleczarskich
<b>Barwniki flawonoidowe</b>
antocyjany są rozpuszczalnymi w wodzie barwnikami, nadającymi atrakcyjną barwę czerwoną, fioletową i niebieską wielu kwiatom, owocom i warzywom; barwa ich zależy od pH i w środowisku silnie kwaśnym są najbardziej czerwone, a gdy pH wzrasta, stają się niebieskie; stosowane są do barwienia napojów, dżemów i wyrobów cukierniczych
<b>Barwniki chinoidowe – koszenila</b>
głównym składnikiem jest kwas karminowy (karmin); rozpuszczalny w wodzie barwnik otrzymywany z żeńskich form koszenili – owadów z rodziny pluskwiaków; jest odporny na ogrzewanie, działanie światła i tlen; stosowany do barwienia napojów alkoholowych i przetworzonych produktów mięsnych
<b>Barwniki betalainowe</b>
betaina i betaksantyna, czerwień buraczana jest rozpuszczalna w wodzie i wrażliwa na światło, ogrzewanie i tlen; barwnik ten jest szczególnie przydatny do barwienia produktów zamrażanych, suszonych i o krótkim terminie przydatności do spożycia, np. lodów i jogurtu
<b>Inne barwniki – ryboflawina, kurkumina, węgiel</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– ryboflawina, inaczej witamina B2, jest stosowana do wzbogacania żywności oraz jako barwnik; jest rozpuszczalna w wodzie, odporna na ogrzewanie i stosowana w produktach mleczarskich, zbożowych i w deserach</li> <li>– kurkumina to substancja barwna kurkumy – znanej i szeroko stosowanej przyprawy; jest rozpuszczalna w tłuszczu, blednie pod wpływem światła i jest odporna na ogrzewanie; produktom żywnościowym nadaje barwę cytrynowożółtą; stosowana jako składnik przyprawy curry oraz do barwienia zup i wyrobów cukierniczych</li> <li>– węgiel to czarny barwnik w postaci węgla drzewnego jest odporny na działanie światła i ogrzewanie; stosowany przede wszystkim w wyrobach cukierniczych</li> <li>– sproszkowane metale, jak złoto, srebro i glin, są stosowane do barwienia powierzchni, głównie wyrobów cukierniczych</li> </ul>

Źródło: Harasym i Bogacz-Radomska 2016, s. 96; Hendry i Houghton 1996, s. 135–139, 146–154.

Pojawiają się też możliwości zagospodarowania do produkcji m.in. barwników naturalnych wycieków i innych odpadów przemysłu owocowo-warzywnego (Cybulska i in. 2013, s. 27–29).

**Aromaty** – prawidłowy i specyficzny dla danego produktu aromat to bardzo ważny wyznacznik jego jakości, a zarazem indykator świeżości produktu i czynnik zwiększający atrakcyjność produktu. Przyciąga uwagę konsumentów i pozwala rozwijać nowe produkty żywnościowe. Aromat, zgodnie z obowiązującymi regulacjami, to produkt, który nie nadaje się do bezpośredniego spożycia, ale dodany do żywności, zmienia jej smak i (lub) zapach (rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1334/2008). Aromaty jako dodatki do żywności obejmują naturalne substancje aromatyczne, substancje aromatyczne, preparaty aromatyczne, aromaty procesowe i aromaty dymu wędzarniczego.

Aromaty naturalne to substancje otrzymane na drodze procesów fizycznych, enzymatycznych, bądź mikrobiologicznych (np. w czasie fermentacji wina, dojrzewania sera) w całości pochodzące ze źródeł naturalnych – z warzyw, owoców, przypraw lub surowców zwierzęcych, służące jako dodatek do żywności. Dotyczy to również ich nośników. Aromaty bądź substancje aromatyczne naturalne występują w przyrodzie i zostały tam zidentyfikowane, np. mentol otrzymany w trakcie destylacji olejku miętowego.

Termin „**aromat naturalny**” może być użyty tylko i wyłącznie, jeśli 95% (masowo) składników aromatu pochodzi z danej substancji jako materiału źródłowego. Obowiązuje reguła 95/5 – napis „**naturalny aromat truskawkowy**” oznacza, że przynajmniej 95% składników aromatu pochodzi z truskawek, natomiast maksymalnie 5% składników może być użyte do standaryzacji lub nadania aromatu charakterystycznej nuty – zielona, dojrzała, cukierkowa.

**Aromat naturalny o smaku „X”** to taki, w którym wszystkie składniki aromatu są pochodzenia naturalnego, ale z różnych źródeł nieodzwierciedlających specyficznego profilu smakowego. Przykładowo w naturalnym aromacie o smaku pomarańczy – naturalne składniki aromatu pochodzą nie tylko z pomarańczy, ale też z cytryny czy grapefruita. W takim przypadku do produkcji aromatu o smaku pomarańczy można wykorzystać wiele substancji aromatycznych występujących w większości cytrusów.

Skład chemiczny większości naturalnych aromatów występujących w surowcach i produktach żywnościowych kształtuje według aktualnego stanu wiedzy ponad 5 tys. zdefiniowanych związków aromatycznych. Do produkcji środków spożywczych i używek wolno stosować w dawkach zgodnych z dobrą praktyką produkcyjną:

- części jadalne aromatycznych surowców roślinnych (przyprawy),
- wyciągi z jadalnych aromatycznych surowców roślinnych,



- destylaty z owoców jadalnych świeżych lub poddanych procesowi fermentacji,
- kondensaty naturalnych substancji aromatycznych owocowych, uzyskanych ze świeżych soków miazgi lub wytlóków.

Na rynku coraz powszechniejsze jest mikrokapsułkowanie aromatów celem przedłużenia ich trwałości (Janiszewska 2014, s. 194; Janiszewska i Witrowa-Rajchert 2006, s. 41–43).

**Przeciwutleniacze** – ich celem jest ograniczenie psucia się produktów żywnościowych, zwłaszcza zawierających spore ilości tłuszczów, spowodowanego procesem utleniania. Obecnie najczęściej stosowane są antyutleniacze syntetyczne – tańsze, stabilniejsze i bardziej wydajne niż naturalne, choć związki o działaniu antyutleniającym występują w wielu roślinach (fenole i polifenole), mikroorganizmach, a nawet tkankach zwierzęcych. Ich izolacja z surowców naturalnych często prowadzi jednak do utraty lub ograniczenia aktywności antyutleniającej, która w optymalnej postaci występuje jedynie w naturalnym układzie wszystkich składników w danym produkcie.

Przeciwutleniacze dodawane są najczęściej do olejów, tłuszczów oraz produktów zawierających znaczne ilości tłuszczów (np. masa orzechowa), stosowane są także w przypadku produktów o niskiej zawartości wody i zawierających mało tłuszczu (np. suszone przetwory ziemniaczane, guma do żucia), produktów suszonych rozpyłowo lub sublimacyjnie, gdzie dostęp tlenu do cząsteczki jest ułatwiony, np. mączki, grysy sojowe. Oddziaływanie antyutleniaczy jest szczególnie aktywne, gdy zostaną wprowadzone do produktu świeżego, w którym nie utworzyły się jeszcze pierwotne produkty oksydacji (nadtlenki) (Kowalewska i Litwinienko 2010, s. 280–282).

Najczęściej stosowane naturalne antyutleniacze to:

- tokoferole – otrzymywane z nasion roślin oleistych, stosowane do utrwalania olejów naturalnych, margaryn, tłuszczów cukierniczych, piekarniczych i kuchennych oraz smalcu,
- flawonoidy i estry fenolokwasów – występujące w owocach, liściach i nasionach roślin, np. zbóż. Wiele z nich jest stosowanych jako przyprawy, np. rozmaryn, szałwia, oregano, goździk, tymianek, papryka i in.,
- kwas mlekowy – stosowany do ograniczenia utleniania olejów jadalnych,
- kwas L-askorbinowy – stosowany w przetworach owocowych, warzywnych i grzybowych, suszach ziemniaczanych, piwie, winie, mleku w proszku, peklowanym mięsie, wędlinach,
- kwas cytrynowy i jego sole – stosowany do utrwalania margaryn,
- ekstrakty z przypraw, ziół, owoców, warzyw, zielonej herbaty – stosowane w różnego rodzaju produktach żywnościowych (Stolarzewicz i in. 2013, s. 1163–1166).

**Kwas L-askorbinowy** chroni produkty żywnościowe przed oksydacyjnym zbrunatnieniem, jęlczeniem tłuszczów i substancji smakowych. Dobra rozpuszczalność kwasu askorbinowego ułatwia jego stosowanie w środowisku uwodnionym. Jako substancja silnie redukująca, utrwała naturalną barwę wielu surowców i produktów oraz sprzyja tworzeniu stabilnej barwy mięsa. Przyspiesza też znacznie proces peklowania mięsa, dzięki czemu umożliwia ograniczenie dodatku azotynów. Utleniając się, usuwa on tlen ze środowiska oraz może redukować niektóre utlenione związki. Wykazuje ochronne działanie w krótkim okresie, a destrukcyjne – w dłuższym lub przy ogrzewaniu (np. na barwniki betalainowe buraka ćwikłowego). Polepsza jakość mąki przez wzmocnienie glutenu i utrzymanie gazu w czasie fermentacji ciasta. Pełni ważną funkcję biologiczną jako witamina C, której dzienne zapotrzebowanie u dorosłego człowieka wynosi 45–70 mg.

Stosowanie kwasu askorbinowego ma na celu (Grajek 2007):

- ochronę przed enzymatycznym brązowieniem rozdrobnionych lub obranych owoców i przetworów z jasnych warzyw, napojów i soków,
- stabilizowanie naturalnej barwy, np. mięsa i przetworów mięsnych,
- polepszenie wartości wypiekowej mąki oraz jakości pieczywa,
- wzbogacanie w witaminę C produktów dietetycznych i odżywek dla dzieci,
- zwiększenie trwałości tłuszczów w produktach nietłuszczowych, np. w mące, przetworach zbożowych, proszku mlecznym, mrożonych potrawach,
- zapobieganie zmianie zapachu w napojach, sokach, konserwach i mrożonkach,
- ograniczenie utleniania lipidów w mrożonych farszach i przetworach rybnych,
- zmniejszenie korozji metalowych opakowań,
- utrzymanie klarowności soków i wina w czasie przechowywania.

**Tokoferole** otrzymywane są syntetycznie lub z kondensatów po odwapnianiu olejów pochodzących z zarodków nasion: soi, kukurydzy, ryżu i bawełny. Mają one charakter cieczy oleistej barwy żółtawej, niemal bez zapachu. Rozpuszczają się w tłuszczach i rozpuszczalnikach organicznych. Są odporne na działanie zasad i kwasów, jak również światła, natomiast łatwo ulegają utlenieniu.

W szczególności **tokoferol-alfa pełni głównie funkcję fizjologiczną jako witamina E**, tokoferol-beta występuje w małych ilościach i nie ma praktycznego znaczenia, tokoferole delta ( $\delta$ ) i gamma ( $\gamma$ ) wykazują istotne działanie przeciwutleniające i są głównymi składnikami mieszanek służących do utrwalania tłuszczów w produktach żywnościowych (odżywki) oraz karotenoidów i witaminy A. Tokoferole naturalne, mimo powszechnej dostępności i naturalnego pochodzenia, w praktyce przemysłowej są stosowane w ograniczonym zakresie, ze względu na mniejszą efektywność i wyższą cenę niż przeciwutleniacze syntetyczne. Istotne znaczenie jako przeciwutleniacze mają natomiast syntetyczne delta i gamma tokoferole, które są identyczne z naturalnymi (Rahman 2007, s. 224). Niestety, ich

dodatek do żywności w porównaniu z antyutleniaczami syntetycznymi jest mniej skuteczny, a dodatkowo wpływają one na barwę, smak i zapach produktu, do którego są dodawane, co nie zawsze jest pożądane. Nie pozwala to obecnie na ich powszechne stosowanie we współczesnym przetwórstwie żywności, choć trwają prace nad ich optymalizacją. Można zwiększyć efektywność wielu przeciwutleniaczy, wykorzystując synergizm dwóch i więcej przeciwutleniaczy (np. kwas L-askorbinowy + tokoferole) (Piszcz i in. 2010, s. 84).

**Naturalne substancje teksturotwórcze** obejmują substancje zagęszczające, stabilizujące i żelujące, emulgatory oraz substancje współdziałające w tworzeniu i (lub) utrzymaniu określonych struktur. Należą do nich **hydrokoloidy** – polimery o dużej masie cząsteczkowej, rozpuszczalne lub tworzące zawiesinę w wodzie, np. agar, guma arabska, pektyna, żelatyna. Często wykazują również działanie emulgujące lub wspomagające emulgowanie, wiążące, rozpraszające, klarujące, wspomagające pienienie, tworzenie powłok ochronnych. Znaczna część hydrokoloidów pełni również funkcję **substancji wypełniających** – balastowych (pochodne celulozy i skrobi) wykorzystywanych w dynamicznie rozwijającym się segmencie żywności funkcjonalnej i dietetycznej – produkcja żywności o obniżonej wartości energetycznej, odżywek i produktów wspomagające odchudzanie (tab. 8.3).

Substancje teksturotwórcze to przede wszystkim hydrokoloidy pochodzenia naturalnego – roślinne, w tym **ekstrakty z nasion** (guar, carob, czyli mączka chleba świętojańskiego), **ekstrakty wodorostów** (agar, alginainy, karageny, furcelleran), **wydzieliny z drzew** (guma arabska, tragakanta, guma karaya), gluten pozyskiwany z mąki pszennej, preparaty białkowe (np. soi, skrobie, dekstryny), **substancje wytwarzane przez drobnoustroje** (ksantan, gellan, dekstran) oraz **substancje pochodzenia zwierzęcego** (żelatyna, kazeina, białka serwatkowe, albumina jaj). Większość z nich może pełnić zarówno funkcje substancji dodatkowych, jak i składników o określonej wartości żywieniowej, co wykorzystywane jest w produkcji żywności dietetycznej i funkcjonalnej.

Znaczenie tej grupy składników we współczesnym przetwórstwie żywności stale rośnie w związku z ich wykorzystaniem do tworzenia produktów o nowych, często zaskakujących formach i jednocześnie niskiej kaloryczności. Większość z nich stosowana jest jako substancje zagęszczające, stabilizujące, żelujące czy emulgujące. Mogą też pełnić funkcje środka klarującego, filtracyjnego, jak agar czy karagen.

Najpowszechniejsze zastosowanie hydrokoloidów w przemyśle spożywczym obejmuje:

- zwiększenie lepkości i nadanie odpowiedniej tekstury, np. sosom warzywnym, pieczywu, koncentratom zup,
- wywoływanie uczucia pełności w ustach, np. w napojach niskokalorycznych z dodatkiem sztucznych środków słodzących,

- tworzenie uczucia sytości, zmniejszenie szybkości i przedłużenie czasu re-sorbpcji składników pokarmowych w produktach dietetycznych i tzw. prepara-tach odchudzających,
- zapobieganie retrogradacji skrobi, np. w sosach, wyrobach garmażeryjnych,
- stabilizację zawiesin i emulsji, np. sosów sałatkowych, napojów owocowych i warzywnych, wyrobów garmażeryjnych,
- wiązanie wody oraz zmniejszenie synerezy żeli, np. w przetworach mię-snych, nadzieniach do ciast,
- zapobieganie krystalizacji, np. w mrożonkach, lodach, syropach, przedłuże-nie utrzymywania gazów w napojach gazowanych,
- stabilizację piany, np. w wyrobach cukierniczych.

**Tabela 8.3.** Przykładowe wykorzystanie wybranych hydrokoloidów polisacharydowych i ich właściwości

Nazwa	Właściwości
Guma guar E-412	biały lub białokremowy proszek pozyskiwany z nasion drzewa guarowego rosnącego w Pakistanie i Indiach, bez smaku i zapachu, rozpuszczalny zarówno w ciepłej, jak i zimnej wodzie. Stosowany jako stabilizator lodów, sosów, majonezów, żywności mrożonej, substancja wiążąca w wędlinach, składnik nadzień, serów topionych, dodatek do napojów owocowych i dietetycznych. Stosowany w produkcji: zup w proszku, majonezów i sosów sałatkowych oraz przyprawowych, chrzanu tartego, mrożonych owoców, napojów owocowych, żelowanych przetworów owocowych, soków warzywnych oraz żywności niskokalorycznej. Służy jako środek stabilizujący lody (zapobiega krystalizacji) oraz zagęszczający i wiążący wodę w wyrobach garmażeryjnych, konserwach drobiowych, serach topionych. Nadaje strukturę kleistą, ciągliwą mlecznym napojom smakowym, deserom i serom termizowanym. Stosowany również jako stabilizator i zagęstnik w przemyśle piekarskim i cukierniczym, koncentratów i rybnym
Karob (mączka chleba świętojańskiego) E-410	uzyskiwany ze sproszkowanych wysuszonych strąków drzewa świętojańskiego, polisacharyd rozpuszczalny w wodzie, tworzący roztwory o dużej lepkości, o dużej zdolności wiązania wody. Ma wszechstronne zastosowanie jako środek zagęszczający, ceniony za odporność na działanie kwasów, soli oraz podwyższonej temperatury. Chociaż sam nie żeluje, to polepsza właściwości żelujące karagenu i agaru. Stosowany do wyrobu napojów, do stabilizacji zawiesin, majonezów, sosów sałatkowych i przyprawowych, owocowych nadzień do ciast, deserów owocowych, puddingów. Wykorzystywany jako stabilizator do wyrobu lodów i żywności mrożonej. Zapobiega synerezie napojów mlecznych fermentowanych i jogurtów oraz serów termizowanych. Stosowany również jako stabilizator, zagęstnik, substancja do otoczkowania i substancja wiążąca w przemyśle piekarskim i cukierniczym, koncentratów, mięsnym i rybnym

Nazwa	Właściwości
Kwas alginowy E-400 i alginiany E 401–406	kwas alginowy, który stanowi podstawę otrzymywania alginianów otrzymuje się w wyniku ekstrakcji alkalicznej morskich alg brunatnych. Jest nierozpuszczalny w wodzie i rozpuszczalnikach organicznych, lecz silnie wchłania wodę (pęcznieje), stosowany jest jako substancja rozpraszająca w napojach i stabilizator piany piwa. Służy do wyrobu kapsulek oraz jako składnik balastowy w preparatach dla odchudzających – do 10%, jako zagęstnik, wypełniacz, stabilizator lub składnik polewy, nadzień kremowych i owocowych do ciast w przemyśle piekarskim i cukierniczym. W mleczarstwie stosowany do wyrobu serków „cottage”; w przemyśle koncentratów – do wyrobu budyniów, puddingów, galaretek, kremów ciastkarskich, lodów i sorbetów. Stosowany również w przemyśle garmażeryjnym, mięsnym i rybnym jako składnik powłok ochronnych. Znajduje zastosowanie jako substancja wypełniająca do wyrobu produktów tabletkowanych
Agar E-406	naturalny polisacharyd otrzymywany z wodorostów morskich (czerwonych glonów morskich <i>Rhodophyceae</i> ) przez ekstrakcję wodną. Tworzy żełe już przy stężeniu powyżej 0,04%, bez specjalnych wymagań dotyczących zawartości cukru czy zakresu pH. Stosowany do wyrobu zżelowanych produktów owocowych, imitacji owoców i warzyw, dżemów, galaretek, klarowania win, soków, octu oraz do konserw i innych przetworów mięsnych, rybnych i garmażeryjnych o jędrnej galarecie. Wykorzystywany również do produkcji cukierków, nadzień ciastkarskich i cukierniczych, pianek, ptasiego mleczka, wyrobów cukierniczych trwałych i ciastkarskich, koncentratów deserów w proszku, lodów, margaryny o obniżonej kaloryczności, napojów mlecznych niefermentowanych z naturalnymi dodatkami smakowymi oraz poddanych obróbce termicznej po ukwaszeniu, deserów mlecznych typu „pudding”, twarogów termizowanych, śmietanki sterylizowanej UHT, śmietanki do ubijania oraz do klarowania piwa i hydrolizatów białkowych
Karagen E-407	ekstrahowany z czerwonych wodorostów morskich – chrząstnicy kędzierzawej określanej jako mech irlandzki ( <i>Chondrus crispus</i> ), używany do wytwarzania galaret i żeli. W jego skład wchodzi przede wszystkim śluz, którego głównym składnikiem jest karagenina, a także inne polisacharydy i niewielkie ilości jodu i bromu. Odnacza się dużą aktywnością biologiczną. Jakość żelu karagenowego można zmieniać przez dodatek niektórych wielocukrów, a szczególnie mączki z chleba świętojańskiego. Synergizm z tymi składnikami pozwala na uzyskanie żeli bardziej sprężystych i o mniejszej podatności na synerезę. Właściwości żelujące i wiązania wody wykorzystuje się w produkcji niskocukrowych dżemów, galaretek oraz przetworów mięsnych, a stabilizujące w wyrobie, np. keczupów, napojów i produktów mlecznych i mlekopodobnych. Ponieważ karagen niemal nie ulega hydrolizie pod wpływem enzymów przewodu pokarmowego i daje żełe przy niskiej koncentracji cukru, służy do wyrobu żywności niskokalorycznej

Nazwa	Właściwości
Guma arabska E-414	bezbarna, bez smaku i zapachu, nietoksyczna wydzielina (zestalony sok) drzewa akacjowego rosnącego w Sudanie, Senegalu, Indiach i Australii. Wykazuje dobrą rozpuszczalność zarówno w wodzie, w tym zimnej, jak i roztworach soli, cukru oraz w mleku. Guma arabska znajduje zastosowanie jako substancja zagęszczająca, zapobiegająca krystalizacji cukru w produktach cukierniczych, a także do produkcji koncentratów, gum do żucia, cukierków typu żelki, do dekoracji lodów, ciast, deserów cukierniczych itp. Jest przydatna w procesach emulgowania towarzyszących wytwarzaniu sosów, majonezów, lodów i produktów mlecznych (0,04–0,07%). Jest substancją tworzącą szczelny film wokół cząsteczek substancji suszonych rozpyłowo i z tego powodu stosowana jako nośnik w procesie mikrokapsułkowania, np. aromatów
Guma karaya E-416	wydzielina drzew z rodziny <i>Sterculia</i> , rosnących jedynie w Indiach, wykorzystywana do poprawy stabilności produktów przez wiązanie zawartej w nich wody. Jej dodatek w ilości 0,2–0,4% zapobiega uwalnianiu wolnej wody oraz formowaniu dużych kryształów lodu w produktach mrożonych (lody), a w ilości do 0,8% poprawia smarowność serów topionych. W połączeniu z karagenem lub alginianem (w ilości 0,02–0,1%) służy jako stabilizator śmietanki oraz zapobiega czerstwieniu pieczywa (w ilości 0,1–0,9%). Zdolność wiązania wody przez tę gumę wykorzystano również w produkcji farszów mięsnych, gdzie stosowana jest zwykle zamiast droższej tragakanty
Ksantan E-415	produkt fermentacji glukozy przeprowadzonej za pomocą bakterii <i>Xanthomonas campestris</i> . Po oczyszczeniu przez wytrącenie etanolem ksantan jest suszony i mielony. Dobrze rozpuszcza się w wodzie zimnej, ciepłej, mleku, roztworach soli i cukru, dając stabilne roztwory o dużej lepkości niezależne od zmian temperatury, odczynu środowiska (stabilne w zakresie pH 1–13). Jest odporny na zamrażanie i rozmrażanie. Ksantan z mączką chleba świętojańskiego tworzy żele o bardzo dobrych właściwościach sensorycznych, co jest wykorzystywane m.in. w produkcji deserów i budyniów instant. Stosowany jako stabilizator sosów, napojów owocowych, nadzień owocowych, lodów, konserw. W przemyśle mleczarskim jest wykorzystywany do wyrobu jogurtów smakowych i termizowanych, śmietanki UHT, serów topionych. Używa się go do produkcji koncentratów ciast, koncentratów obiadowych oraz wyrobów dietetycznych
Dekstran	wytwarzany przez bakterie z rodzaju <i>Leuconostoc</i> hodowanych na roztworach cukrów. Rozpuszczalny w zimnej wodzie, przy czym roztwór charakteryzuje się małą lepkością. Dekstran zapobiega krystalizacji cukrów w wyrobach cukierniczych, lodach, syropach. Wzmacnia żele żelatynowe. Jest wykorzystywany do produkcji deserów żelujących, przetworów owocowych wysokosłodzonych, w przemyśle koncentratów spożywczych, mleczarskim i napojów
Guma gellan E-418	polisacharyd wytwarzany przez bakterie <i>Pseudomonas elodea</i> hodowane na pożywkach węglowodanowych. Tworzy żele termicznie odwracalne lub nieodwracalne już przy bardzo małych stężeniach (0,05%). Tekstura żelu może być modyfikowana przez dodanie ksantanu, skrobi modyfikowanych czy innych hydrokoloidów, dzięki którym tworzą się klarowne i stabilne żele. Guma ta jest stosowana m.in. do produkcji galaretek, dżemów, nadzień owocowych do ciast, lodów, koncentratów deserów, sosów, napojów mlecznych, jogurtów; jest też składnikiem wypełniającym w wyrobach dietetycznych

Nazwa	Właściwości
Pektyny E-440	rozpuszczalne w wodzie estry alkoholu metylowego i kwasu poligalakturonowego występujące w ściankach komórek, blaszkach środkowych przestrzeni międzykomórkowych roślin, gdzie pełnią funkcje materiału strukturotwórczego oraz regulatora gospodarki wodnej. Pektyny otrzymuje się przez ekstrakcję wodną skórek i wyłóków owoców cytrusowych oraz wyłóków jabłkowych. Stosowane do produkcji trwałych wyrobów cukierniczych (np. owocowych nadzień cukierniczych, galaretek owocowych), przetworów owocowych i warzywnych (dżemów, półproduktów owocowych do napojów mlecznych, koncentratów, deserów), żywności dietetycznej (np. koncentratów bezglutenowych), odżywek niskoenergetycznych

Źródło: Świdorski i Waszkiewicz-Robak 2018, s. 52–56, 60–62.

Do substancji teksturotwórczych pochodzenia białkowego zaliczane są białka roślinne (np. białka z soi, z grochu) oraz białka zwierzęce (np. białka z mleka, z jaj). Dzięki właściwościom tworzenia ciasta przez gluten otrzymuje się pieczywo, dzięki właściwościom tworzenia skrzepów białkowych przez micelle kazeinowe czy białka sojowe otrzymuje się sery, twarogi i tofu, dzięki właściwościom wiążącym, emulgującym i teksturotwórczym białek mięsa powstają parówki i wiele innych produktów mięsnych, zaś dzięki właściwościom pianotwórczym białka jaja otrzymuje się bezy, pianki i wiele innych napowietrzanych deserów.

Białka jako dodatek w nowoczesnym przetwórstwie żywności wykorzystywane są do (Reineccius 2019, s. 63–64):

- podniesienia wartości żywieniowej produktów tradycyjnych, np. wzbogacania w białko pieczywa,
- produkcji wysokobiałkowych odżywek dla niemowląt, dzieci, sportowców,
- wytwarzania produktów specjalnych z zamienionym białkiem, np. wegetariańskich oraz dla osób nietolerujących białek mleka czy glutenu,
- wytwarzania żywności dla specjalnych potrzeb dietetycznych, np. preparaty dla odchudzających się,
- produkcji żywności funkcjonalnej – prozdrowotnej, np. obniżanie poziomu cholesterolu.

Wśród roślinnych składników białkowych, największe znaczenie mają produkty z białek sojowych (Nishinari i in. 2014, s. 28–45). W mniejszym stopniu wykorzystywane są również: gluten pszenny oraz produkty białkowe z grochu. Trwają próby otrzymywania na skalę przemysłową roślinnych preparatów białkowych z innych surowców (rzepak, słonecznik, bawełna, lucerna i in.). Wśród składników białkowych pochodzenia zwierzęcego największe przemysłowe znaczenie mają: żelatyna, białka mleka (kazeina) oraz jaj (albuminy).

W mniejszym stopniu wykorzystuje się białka ryb (np. surimi), białka serwatkowe, czy plazmę krwi.

**Właściwości i wykorzystanie wybranych preparatów białkowych** omówiono poniżej (Zalewski i Jędrzejczyk 2018, s. 246–258):

- **gluten pszeny** – polepszacz mąki, składnik wzmacniający strukturę ciasta, substancja stabilizująca, zagęszczająca i teksturotwórcza. Wykazuje zdolność absorpcji wody. Gluten uwodniony powyżej 40% wilgotności jest elastyczny – rozciągliwy i sprężysty. W pieczywie zwiększa sprężystość oraz wzmacnia strukturę ciasta. Dzięki dużej lepkości silnie uwodniony gluten zatrzymuje pęcherzyki gazu w strukturze ciasta. Dodawany jest do mąk ubogich w gluten dla polepszenia ich jakości wypiekowej, wykorzystywany w produkcji pieczywa do poprawy struktury miękiszu ciasta, zwiększenia objętości. W produkcji pieczywa cukierniczego stosowany do wyrobów zawierających owoce, orzechy i inne tego typu dodatki. Służy również jako środek wiążący do wyrobu tabletek oraz do wyrobu niektórych produktów wegetariańskich, wyrobów garmażeryjnych i przetworów mięsnych. Wykorzystywany jest ponadto do produkcji hydrolizatów białkowych, zbożowych produktów śniadaniowych;
- **kazeina** – stanowi ok. 79% ogólnej ilości białek mleka. W warunkach przemysłowych kazeina jest otrzymywana z odtuszczonego mleka, przez jej wytrącenie (koagulację) w wyniku zakwaszenia mleka do pH ok. 4,6. Jest składnikiem odżywczym, środkiem klarującym. Ze względu na ograniczoną funkcjonalność białek w pobliżu punktu izoelektrycznego kazeina nie odgrywa większej roli jako tzw. dodatek funkcjonalny. Kazeina jest stosowana jako składnik wyrobów żywnościowych w celu wzbogacenia ich w białko (np. pieczywa i innych produktów zbożowych) i uzyskania lepszego związania. Ponadto ma ona właściwości klarujące ciecze. W większym stopniu niż żelatyna usuwa barwniki brązowe z soków. Stosowana w produktach garmażeryjnych oraz jako środek klarujący soki owocowe, piwo, ocet fermentacyjny i wódki. Jest surowcem do wyrobu kazeinianów oraz produkcji przyprawowych hydrolizatów białkowych;
- **kazeinian sodu** – produkt otrzymywany ze spożywczej kazeiny kwasowej w wyniku neutralizacji wodorotlenkiem sodu, a następnie poddany suszeniu, najczęściej rozpyłowemu. Składnik odżywczy, emulgator, stabilizator, substancja zagęszczająca, pianotwórcza, zabielająca. Kazeinian sodu jest łatwo rozpuszczalny w wodzie, odporniejszy na działanie wysokich temperatur niż białko mleczne. Wykazuje znakomite właściwości emulgowania tłuszczu i stabilizacji emulsji. Odnacza się również dobrą zdolnością tworzenia piany oraz zwiększania lepkości. Ma słabą zdolność wiązania wody. Stosowany jest do produkcji między innymi odżywek dla niemowląt i dzieci oraz



preparatów dietetycznych, napojów mlecznych, mlecznych produktów fermentowanych, śmietanki do ubijania, śmietanki i zabielaaczy do kawy, lodów i deserów mlecznych, kremów i polew cukierniczych, ciast, past, pasztetów, produktów garmażeryjnych, wędlin, koncentratów zup i deserów, dań obiadowych. Jest nośnikiem substancji wzbogacających;

- **koncentraty białek serwatkowych** – produkty zawierające ponad 35% białka w suchej masie, zwykle: 35%, 50%, 65% i 80% białka w s.m. Wykorzystywane jako składnik odżywczy, emulgator, stabilizator emulsji i pian. Dzięki wysokiej zawartości  $\alpha$ -laktoalbuminy mają właściwości zbliżone do białka mleka kobyiego, zawierają immunoglobuliny, które wspomagają system przeciwniekcyjny. W przetwórstwie żywności pełnią funkcję składnika wzmacniającego smak i nadającego produktom posmak mleczny. Stosowane są do produkcji mleka humanizowanego, mlecznych mieszanek kazeino-serwatkowych, odżywek dla niemowląt oraz mieszanek mlecznych dla dzieci starszych, napojów fermentowanych, past i serków do smarowania, pieczywa, kremów i nadzień cukierniczych, produktów cukierniczych napowietrzanych, napojów czekoladowych, napojów izotonicznych, zup, sosów, dressingów i lodów;
- **albumina** – wysuszone krystaliczne białko jaj kurzych, które zostało uprzednio wymieszane, przefiltrowane i odcukrzone enzymatycznie. Substancja pianotwórcza, środek klarujący, stabilizator, substancja żelująca, emulgująca. Wykazuje doskonałe właściwości tworzenia stabilnych pian. Dodatek cukru czy tłuszczu zmniejsza wydajność piany, a soli kuchennej – pogarsza jej trwałość. Stosowana w ciastkarstwie, cukiernictwie artykułów opartych na piangkach, pieczeniach, pasztetach oraz jako środek klarujący w przemyśle napojów (winiarstwo, soki owocowe).

**Emulgatory spożywcze** są związkami powierzchniowo czynnymi, które ułatwiają wytwarzanie emulsji i zapewniają jej stabilność. **Emulgatory naturalne** to substancje wyizolowane z produktów naturalnych bez zasadniczej zmiany w budowie, np. lecytyna lub kazeinian sodu.

**Lecytyna E-322** jest to grupa organicznych związków chemicznych zaliczanych do fosfolipidów, w których reszta fosforanowa zestryfikowana jest choliną. Lecytyny zwykle otrzymuje się z żółtek jajek kurzych oraz z rzepaku lub ziaren soi. Jest to produkt uboczny rafinacji olejów, najczęściej sojowego. W badaniach na szczurach wykazano, że lecytyna pochodząca z soi znacząco obniża poziom cholesterolu i triglicerydów, podwyższając jednocześnie poziom HDL. Wykazuje pozytywne działanie na funkcje poznawcze u osób z ich osłabieniem, jednakże nie ma znaczących dowodów na pozytywne działanie lecytyny u osób z demencją. Lecytyna to emulgator dla emulsji typu o/w i stabilizator wykazujący

również właściwości przeciwutleniające. Wzmacnia gluten w mąkach pszennych, w produktach piekarskich przyczynia się do polepszenia właściwości miesienia i formowania ciasta, zwiększenia przypieku i objętości oraz delikatności skórki. Zmniejsza lepkość i obniża płynność masy czekoladowej oraz umożliwia obniżenie udziału masła kakaowego. Stosowana jest do wyrobu margaryny, majonezu, tłuszczów kuchennych i piekarniczych, chleba lecytynowego, ciast przemysłowych, makaronu, czekolady i produktów czekoladopodobnych, koncentratów deserów, serów topionych, proszku mlecznego i śmietanki w proszku, proszków typu instant, napojów kakaowych, sosów i zup, odżywek wzmacniających dla dzieci i ludzi starszych (Wilde 2014, s. 5–8).

**Naturalne substancje słodzące** służą pozyskaniu bardzo pożądanego przez konsumentów smaku słodkiego oraz polepszaniu cech sensorycznych żywności, m.in. nadają produktom teksturę, działają stabilizująco, ograniczają proces denaturacji białek i nadają produktom charakterystyczne zabarwienie i aromat. Mogą też być nośnikami substancji smakowych i zapachowych. W przemyśle spożywczym najczęściej stosowana jest sacharoza, fruktoza, glukoza, miód naturalny, syropy cukrowe, np. cukier inwertowany, i syropy skrobiowe.

Wśród naturalnych substancji słodzących należy wymienić (Waszkiewicz-Robak 2018b, s. 94–98):

- **sacharozę** – podstawowy środek słodzący w przetwórstwie, w stężeniu powyżej 65% konserwant, głównie owoców. Indeks glikemiczny 63, kaloryczność 4 kcal/g;
- **fruktozę** – naturalny cukier owocowy, słodszy od sacharozy i glukozy. Jej indeks glikemiczny wynosi 19 (dla glukozy 100, a dla sacharozy 63), co oznacza, że jest wolniej wchłaniana i nie powoduje szybkiego wzrostu poziomu cukru we krwi. Słodsza od sacharozy o ok. 50–60% – można jej mniej stosować do uzyskania pożądanego poziomu słodczy. Bardzo dobrze uwydatnia smak i aromat owocowy, czekoladowy, kawowy, stosowana do produkcji napojów, wyrobów ciastkarskich, dżemów, lodów czy jogurtów;
- **glukozę** – cukier gronowy, o indeksie glikemicznym 100, jako cukier bardzo dobrze przyswajany przez organizm człowieka, stosowany do produkcji odżywek dla sportowców i składnik żywności energetyzujących, w tym napojów energetycznych;
- **cukier inwertowany** – mieszanina glukozy i fruktozy uzyskana w wyniku kwasowej lub enzymatycznej hydrolizy sacharozy (w zależności od stopnia hydrolizy otrzymuje się syropy o różnej sile słodzenia, zawsze słodsze od sacharozy). Inwert stosowany jest do produkcji przetworów owocowo-warzywnych, napojów bezalkoholowych, wyrobów piekarniczych i cukierniczych oraz mleczarskich;

- **miód naturalny** – jest produktem wysokokalorycznym, 100 gramów miodu dostarcza 315 kcal. Dla porównania 100 g cukru dostarcza 400 kcal. Miód jest naturalnym konserwantem zapachu i smaku. W USA miód jest dodatkiem w produkcji specjalnego papieru do pakowania mięsa. Miód pszczeli zapobiega powstawaniu próchnicy zębów. Badania wykazały, że miód od 17% do 48% zmniejszył występowanie bakterii *Streptococcus mutans*, odpowiedzialnej za tworzenie płytki nazębnej;
- **ksylitol** – polioliol, półsyntetyczny wypełniacz pozyskiwany z brzoź i niektórych innych twardych drzew, zawiera 2,4 kcal/g, słodycz równą słodyczy sacharozy, indeks glikemiczny równy 8, dodatkowo jego stosowanie niesie bardzo przyjemny efekt chłodzący. Regularne spożywanie ksylitolu obniża ryzyko wystąpienia próchnicy. Ksylitol stosowany jest do produkcji żywności niskokalorycznej, o obniżonym indeksie glikemicznym, a także gum do żucia, cukierków miętowych, słodyczy i produktów do higieny jamy ustnej;
- **laktitol** – alkohol cukrowy produkowany z laktozy. Jego kaloryczność wynosi 2,4 kcal/g, słodkość to 40% słodyczy sacharozy, a indeks glikemiczny jest równy 4. Prebiotyk stosowany w produktach niskokalorycznych oraz nisko- i bezcukrowych. Stosowany głównie do produkcji słodyczy, zwłaszcza czekolad „light”, wyrobów piekarskich, lodów i deserów. Dozwolony do stosowania każdorazowo na podstawie indywidualnego zezwolenia Głównego Inspektora Sanitarnego.

Na znaczeniu zyskują też **naturalne substancje intensywnie słodzące**, wyodrębnione z korzeni, liści lub owoców surowców roślinnych, wykorzystywane do produkcji żywności dietetycznej, z której wskazane jest usunięcie sacharozy, np. dla diabetyków, niskokalorycznej, przeznaczonej dla osób zainteresowanych zapobieganiem i leczeniem otyłości i nadwagi. Należą do nich stewiozydy i rebaudiozydy, glicyryzyna, taumatyna, monellina, pentadyna, kurkulina, mirakulina i inne. Przykładowo (Belloir i in. 2017, s. 278–284; Carnoel Beltramo i in. 2018, s. 181–187):

- **stewiozydy i rebaudiozydy**, ekstrahowane ze stewii, są 100–300 razy słodsze od sacharozy, stabilne termicznie do 180°C (czyli nadają się do pieczenia) i chemicznie w szerokim zakresie pH (do kwaśnych potraw);
- **glicyryzyna**, ekstrahowana z lukrecji, ok. 100 razy słodsza od sacharozy, o gorzkim, lukrecjowym posmaku, co ogranicza możliwość jej stosowania. Ma działanie antywirusowe, przeciwzapalne i antywrzodowe;
- **taumatyna** – najśłodsza naturalna substancja białkowa (2–2,5 tys. razy słodsza od sacharozy), całkowicie trawiona przez organizm człowieka. Z uwagi na niewielką jej ilość potrzebną do uzyskania słodkiego smaku praktycznie nie wnosi do żywności kalorii. Jej wadą jest lukrecjowy posmak i opóźnione

odczuwanie smaku słodkiego. Wzmacnia intensywność odczuwania wielu smaków i aromatów, maskuje niekorzystne posmaki, łagodzi ostrość i gorycz pewnych dodatków, np. kofeiny;

- **mirakulina** – substancja bez smaku, ale indukująca słodki posmak – po jej spożyciu nawet kwaśne potrawy wydają się słodkie, a jej aktywność w jamie ustnej utrzymuje się przez ok. dwie godziny.

W ramach naturalnych substancji słodzących w przetwórstwie żywności stosuje się też melasę, syrop klonowy i cukier kokosowy.

Część naturalnych dodatków do żywności wytwarzanych jest z odpadów z przetwórstwa spożywczego, zwłaszcza owocowo-warzywnego, które stanowią 20% całkowitej masy przetworzonych w tym sektorze produktów i obejmują: młóto, wytloki, grochowiny, a także odpady z przerobu marchwi, kapusty, fasolki szparagowej, buraków ćwikłowych i kukurydzy. Największy udział w powstających odpadach mają wytloki, z czego w 90% są to wytloki jabłkowe, wykorzystywane głównie do produkcji pektyn, a także do pozyskiwania substancji barwnych, takich jak antocyjany, karotenoidy czy chlorofile.

Ze względu na dużą zawartość włókna roślinnego wytloki mogą być wykorzystane jako dodatek do żywności w postaci różnych preparatów poprawiających m.in. perystaltykę jelit, ograniczając wchłanianie z przewodu pokarmowego cholesterolu, kwasów żółciowych i tłuszczów. Wytloki mogą zostać wykorzystane również w produkcji herbat owocowych.

Odpady z przerobu warzyw są wykorzystywane do pozyskiwania białka (głównie z odpadów strączkowych) oraz tomatyny (pozyskiwana z pomidorów).

### 8.3. Substancje prozdrowotne i biologicznie czynne stosowane w żywności funkcjonalnej

W przemyśle spożywczym najczęściej znajdują zastosowanie składniki bioaktywne, z których wiele wykazuje wielokierunkowy wpływ na organizm człowieka, a które w istotny sposób usprawniają (Makała 2018, s. 19):

- pracę serca i funkcjonowanie układu krążenia, m.in. antyutleniacze – karotenoidy (w tym luteina, likopen, beta-karoten), witamina C, koenzym Q10, flawonoidy czy wielonienasycone kwasy tłuszczowe;
- gospodarkę lipidową organizmu, m.in. beta-glukany wchodzące w skład błonnika pokarmowego, stanole i sterole roślinne, prebiotyki, wielonienasycone kwasy tłuszczowe;
- naturalną odporność organizmu, m.in. immunomodulatory, jak beta-glukany, substancje fitochemiczne, ekstrakty roślinne, np. echinacea, żeń-szeń;

- stan kości i zębów – produkty zawierające podwyższoną ilość białka, wapnia, magnezu, witamin B<sub>6</sub> i D<sub>3</sub>;
- układ pokarmowy i utrzymanie prawidłowej masy ciała, produkty zasobne w pre- i probiotyki, ekstrakty roślinne regulujące procesy trawienia, zawierające glikozydy, fitosterole, katechiny, taniny, kwasy HCA, LCA, L-karnitynę, które wspomagają procesy odchudzania;
- wzrost wytrzymałości fizycznej i sprawności umysłowej – produkty zawierające kofeinę, taurynę, guaranę – zwiększające koncentrację, czy lecytynę, ułatwiającą zapamiętywanie;
- stan włosów, skóry, paznokci – produkty zawierające krzem, cynk, selen, ekstrakty roślinne z pokrzywy, skrzypu polnego i brzozy.

Wzbogacanie żywności, przy założeniu, że zawartość aktywnych składników jest odpowiednio wysoka, a konsumpcja żywności odpowiednia pod względem ilości i częstotliwości pobrania określonych produktów, prowadzi do powstania żywności funkcjonalnej o charakterze fizjologicznym.

Żywność funkcjonalna to żywność, której udowodniono korzystny wpływ na jedną lub więcej funkcji organizmu ponad efekt odżywczy. Ten wpływ powinien polegać na poprawie stanu zdrowia oraz samopoczucia i (lub) zmniejszeniu ryzyka chorób. Żywność funkcjonalna musi przypominać postacią żywność konwencjonalną i wykazywać korzystne oddziaływanie w ilościach, które oczekuje się, że będą normalnie spożywane z dietą – nie są to tabletki ani kapsułki, ale część składowa odpowiednio zbilansowanej diety. Obejmuje ona produkty przeznaczone dla osób zdrowych (*Scientific Concepts...* 1999).

Podwyższona jakość zdrowotna żywności funkcjonalnej wynika głównie z obecności w jej składzie substancji bioaktywnych, stymulujących pożądany przebieg przemian metabolicznych, oraz z optymalnej fizjologicznie proporcji poszczególnych składników.

Jej korzystne oddziaływanie zdrowotne powinno być udokumentowane badaniami klinicznymi prowadzonymi na ludziach, do których diety włączono badany produkt spożywczy. Badania te powinny być wykonywane przez niezależne ośrodki naukowe, obejmować odpowiednio liczną grupę ludzi i trwać wystarczająco długo, by zapewnić obiektywne i stabilne rezultaty. Tylko naukowe potwierdzenie właściwości prozdrowotnych upoważnia do uznania danego produktu za żywność funkcjonalną.

Żywność wzbogacana, zwana żywnością projektowaną, służy profilaktyce i leczeniu chorób i odchyłeń w stanie zdrowia spowodowanych nieprawidłowym żywieniem, może zwiększać wydolność psychofizyczną i odporność organizmu, obniżać podatność na stres i opóźniać procesy starzenia się. Naturalne składniki bioaktywne stosowane do wzbogacania żywności przedstawiono w tabeli 8.4.

**Tabela 8.4.** Naturalne składniki bioaktywne stosowane do wzbogacania żywności

Składniki bioaktywne	Przykłady	Korzystny wpływ na zdrowie
Błonnik pokarmowy	Pektyny, beta-glukany, guar, alginiany, karageny, ksantan, ligniny, skrobia oporna	Przeciwdziałanie zaparciom i nowotworom jelita grubego, zmniejszenie poziomu cholesterolu we krwi, hamowanie uczucia głodu
Prebiotyki (oligosacharydy i polisacharydy)	Inulina, rafinoza, stachioza, laktuloza, oligofruktoza, oligogalaktoza	Stymulacja rozwoju probiotycznej flory jelitowej oraz układu odpornościowego, zapobieganie zaparciom, nowotworom jelita grubego, zmniejszanie poziomu cholesterolu we krwi
Probiotyki (bakterie fermentacji mlekowej)	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i>	Zapobieganie zaparciom, nowotworom jelita grubego, zmniejszanie poziomu cholesterolu
Poliole	Sorbitol, ksylitol, malitol, laktitol, izomalt	Zmniejszenie poziomu glukozy we krwi, hamowanie rozwoju próchnicy
Aminokwasy, peptydy, białka	Kwas glutaminowy, kreatyna, karnityna, tauryna, tyrozyna, glutationn, hydroizolaty, koncentraty i izolaty białkowe, np. sojowe	Zapewnienie prawidłowej budowy tkanek, regulacja procesów metabolicznych, poprawa przyswajania składników mineralnych
Wielonienasycone kwasy tłuszczowe	Kwasy z grupy omega-3: kwas linolenowy, ekozapentaenowy EPA, dekozaheksaenowy DHA	Przeciwdziałanie chorobom krążenia, hamowanie zapaleń i alergii, umożliwienie prawidłowego rozwoju układu nerwowego, zmniejszenie ryzyka chorób serca
Witaminy	Z grupy B, D oraz witaminy antyoksydacyjne A, C, E	Regulacja procesów metabolicznych, neutralizacja wolnych rodników, stymulacja układu odpornościowego
Składniki mineralne	Wapń, magnez, żelazo, cynk, selen, jod, mangan	Zapewnienie prawidłowej mineralizacji kości, regulacja procesów metabolicznych, stymulacja układu odpornościowego
Cholina i lecytyna	Sojowa, rzepakowa, jajeczna	Usprawnienie funkcjonowania centralnego układu nerwowego, ułatwienie trawienia tłuszczów
Substancje fitochemiczne	Związki polifenolowe, np. resweratrol, flawonoidy, karotenoidy, kofeina, glikozydy, fitosterole	Bardzo różnorodne, zależne od substancji, m.in. przeciwdziałanie chorobom krążenia, nowotworom, usprawnienie procesów metabolicznych, poprawa nastroju

Źródło: Kolanowski 2018, s. 232.

Produkcja żywności funkcjonalnej możliwa jest poprzez:

- wykorzystanie naturalnych produktów zawierających składniki, które mają pozytywny wpływ na zdrowie, np.: sok z czarnego bzu działający wspomagająco w infekcjach wirusowych, błonnik pokarmowy ze zbóż zmniejszający ryzyko nowotworów jelita grubego, jarmuż, szpinak, kukurydza, jaja, cytrusy zawierające luteinę i zeaksantynę czy orzechy i szparagi bogate w alfa-tokoferole lub kapelusze grzybów wielkoowocnikowych zawierające ergosterol (prekursor witaminy D<sub>2</sub>);
- eliminację z produktu lub zastosowanie w produkcie zamienników składników niepożądanych, które działają w sposób szkodliwy, np. tłuszczu, cholesterolu, soli, cukru;
- wzbogacanie w poszczególne składniki bioaktywne lub ich kompozycje w celu wzmocnienia oczekiwanego działania, np. jogurty z probiotykami, ciastka bądź napoje z dodatkiem witaminy D, wapnia, polifenoli;
- dodanie składnika niewystępującego naturalnie w produkcie, np. koenzymu Q10, kolagenu do napoju;
- poprawę biodostępności żywności lub substancji odżywczych działających korzystnie poprzez odpowiednie zestawienie poszczególnych składników recepturowych lub eliminację składników antyodżywczych, np. usuwanie związków toksycznych lub alergenów, np. kazeiny, glutenu, laktozy;
- zachowanie korzystnych cech sensorycznych, odpowiednią stabilność i trwałość w czasie przechowywania produktu;
- stosowanie technologii i opakowań zmniejszających potencjalne straty składników odżywczych podczas produkcji i przechowywania żywności funkcjonalnej.

Możliwości wykorzystania aktywnych składników żywności w przeciwdziałaniu określonym dolegliwościom zaprezentowano w tabeli 8.5.

**Tabela 8.5.** Możliwości wykorzystania aktywnych składników żywności w przeciwdziałaniu określonym dolegliwościom

Dolegliwość	Składnik aktywny	Produkt
Anemia	Kompleksy żelaza, laktoferyna	Płatki śniadaniowe, pieczywo
Cholesterolemia, choroby serca i układu krążenia	Omega-3 NNKT, olej rybny, sterole roślinne, olej lniany	Chleb, tłuszcze i produkty tłuszczowe
Cukrzyca	Rozpuszczalny błonnik pokarmowy, ekstrakty zbożowe	Napoje orzeźwiające, jogurty
Funkcje immunologiczne	Omega-3 NNKT, witaminy A, C, E, probiotyki	Tłuszcze, napoje mleczne, jogurty

Dolegliwość	Składnik aktywny	Produkt
Mikroflora przewodu pokarmowego	Probiotyki	Napoje mleczne, jogurt, czekolada, wędliny surowodojrzewające, napoje funkcjonalne
Nowotwory	Kwas askorbinowy	Napoje orzeźwiające, herbata
Oslabienie	Fruktoza, glukoza, izomalt, laktitol, maltitol, ksylitol, guarana, tauryna	Wyroby cukiernicze, soki
Osteoporoza, uzębie	Kompleksy wapnia, kazeina, peptydy	Produkty mleczne, jogurty, soki
Perystaltyka jelit	Nierozpuszczalny błonnik pokarmowy, otręby, celuloza	Pieczywo, płatki śniadaniowe
Trawienie	Prebiotyki – frukto-, galaktosacharydy	Soki, napoje, jogurty
Wady układu nerwowego noworodków	Kwas foliowy	Produkty żywnościowe dla kobiet kobiet ciężarnych

Źródło: Górecka 2007, s. 22.

W ramach żywności funkcjonalnej należy wyróżnić (tab. 8.6) (Harasym i in. 2016, s. 121):

- 1) produkty wpływające istotnie na zdrowie dzięki:
  - hamowaniu rozwoju chorób cywilizacyjnych,
  - osłabianiu dolegliwości w trakcie chorób przewlekłych,
  - poprawnemu żywieniu podczas choroby,
  - oddziaływaniu leczniczemu,
  - dostarczaniu większej ilości składników odżywczych w konkretnych stanach fizjologicznych,
  - opóźnieniu procesów życiowych organizmu;
- 2) żywność specjalną i dietetyczną dla:
  - osób z nietolerancjami i alergiami pokarmowymi,
  - osób wymagających projektowania specjalnych diet,
  - osób z zaburzeniami metabolizmu,
  - osób wymagających żywienia długookresowego sondą,
  - dzieci, niemowląt,
  - kobiet w ciąży i karmiących;
- 3) produkty wpływające na wydolność fizyczną organizmu dzięki:
  - polepszeniu samopoczucia psychicznego,
  - wzmożeniu wydolności umysłowej,
  - dodaniu związków psychoaktywnych, prekursorów neuromediatorów;



- 4) produkty wpływające na wydolność fizyczną organizmu dzięki:
- ułatwieniu wykonywania intensywnego wysiłku fizycznego,
  - zapewnieniu wzmożonej wydolności umysłowej i fizycznej,
  - osłabianiu przejawów stresu i zmęczenia,
  - poprawie regeneracji organizmu.

**Tabela 8.6.** Podział żywności funkcjonalnej ze względu na stan wiedzy o efektach zdrowotnych żywności funkcjonalnej

Rodzaje żywności funkcjonalnej	Grupy produktów	Składniki bioaktywne
Żywność o wysokim stanie wiedzy na temat efektów żywieniowych i zdrowotnych (jej spożycie nie powoduje niekorzystnych efektów zdrowotnych)	Produkty bogate w takie składniki lub wzbogacane nimi	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bakterie fermentacji mlekowej</li> <li>– błonnik pokarmowy</li> <li>– składniki mineralne</li> <li>– nienasycone kwasy tłuszczowe</li> <li>– aminokwasy</li> <li>– peptydy</li> <li>– białka</li> </ul>
	Produkty mające w swym składzie zamienniki sacharozy	<ul style="list-style-type: none"> <li>– oligosacharydy</li> <li>– wielowodorotlenowe alkohole</li> <li>– białkowe, glikozydowe substancje o intensywnej słodczy</li> </ul>
	Produkty mające w swym składzie zamienniki tłuszczu	<ul style="list-style-type: none"> <li>– białka</li> <li>– oligosacharydy</li> <li>– polisacharydy</li> <li>– alkohole wielowodorotlenowe</li> </ul>
Żywność o małym stanie wiedzy na temat efektów żywieniowych i zdrowotnych (jej spożycie może wywoływać wystąpienie niepożądanych efektów zdrowotnych)	Produkty naturalnie zawierające aktywne składniki roślinne (fitozwiązki) lub biologicznie nimi wzbogacane	<ul style="list-style-type: none"> <li>– glikozydy</li> <li>– izoprenoidy</li> <li>– tokotrienole</li> <li>– flawonoidy</li> <li>– flawonole</li> <li>– katechiny</li> <li>– kantaksantyna</li> <li>– izotiocyjany</li> <li>– saponiny</li> <li>– olejki eteryczne</li> <li>– organizmy zawierające te substancje na skutek modyfikacji genetycznych</li> </ul>

Źródło: Harasym i in. 2016, s. 122.

Na rynku żywności funkcjonalnej dominują produkty wykazujące pozytywny wpływ na **funkcjonowanie jelita grubego** (ok. 45%), **układu krążenia** (ok. 36%) i **układu odpornościowego** (ok. 20%). Związki bioaktywne występujące w żywności omówiono w tabeli 8.7.

**Tabela 8.7.** Związki bioaktywne występujące w żywności

Związek bioaktywny	Działanie
Błonnik pokarmowy	zapobiega chorobom cywilizacyjnym, takim jak miażdżycy, cukrzyca, otyłość, próchnica, choroba niedokrwienna serca, zaparcia. Jego podstawowe źródła to produkty zbożowe (65%), warzywa (20%) i owoce (13%). Najcenniejsze źródło tego składnika to otręby zbożowe zawierające 15–43% błonnika
Oligosacharydy	wpływają na mikroflorę jelita grubego, zmniejszają poziom cholesterolu we krwi. Stanowią specyficzną frakcję błonnika pokarmowego wykorzystywaną w dietach niskoenergetycznych, są zamiennikami cukru. Obejmują przed wszystkim oligofruktozę i inulinę stosowane jako dodatek do produktów mlecznych, deserów, czekolady, lodów, wędlin, produktów dietetycznych
Poliole	alkohole wodorotlenowe (sorbitol, mannitol, ksylitol) – zmniejszają poziom glukozy we krwi, hamują rozwój próchnicy, są wykorzystywane jako zamienniki sacharozy. Występują w owocach i warzywach, np. ksylitol w truskawkach i malinach, sorbitol w śliwkach i gruszkach, a mannitol w oliwkach i figach. Stosowane jako dodatek do produktów spożywczych poprawiają teksturę i wpływają na zwiększenie objętości produktu, zapewniają ponadto efekt chłodzący w gumach do żucia, cukierkach i napojach orzeźwiających, miętowych itp.
Aminokwasy, peptydy, białka	zapewniają prawidłową budowę tkanek, regulują procesy metaboliczne, ułatwiają przyswajanie składników mineralnych. Zaliczane są do tej grupy: kwas glutaminowy, kreatyna, karnityna, glutation, hydroizolaty białkowe, kwas foliowy, indole. Są stosowane do produkcji mieszanek dla niemowląt, żywności dla alergików i chorych na fenylketonurię
Wielonienasycone kwasy tłuszczowe, np. omega-3	przeciwdziałają chorobom krążenia, umożliwiają prawidłowy rozwój układu nerwowego, hamują stany zapalne i alergię, występują w olejach (kwas ALA – krótkołańcuchowy w oleju sojowym, lnianym i rzepakowym, zaś kwasy EPA i DHA – długołańcuchowe w rybach morskich, takich jak: dorsz, śledź, makrela, szprotka, sardynka, łosoś), mikroalgach, grzybach morskich
Witaminy, składniki mineralne	stanowią niezbędny element diety człowieka, pełnią przede wszystkim funkcje regulujące, dodatkowo np. wapń, fosfor, magnez, fluor, siarka stanowią materiał budulcowy tkanek, a żelazo, miedź i kobalt są niezbędne do wytwarzania erytrocytów i hemoglobiny. W żywności funkcjonalnej stosowane jest wzbogacanie pojedynczymi składnikami mineralnymi lub ich mieszanekami
Probiotyki, synbiotyki (połączenie probiotyków i prebiotyków, które stanowią dla nich pożywkę, np. inulina)	bakterie fermentacji mlekowej, które zapobiegają zaparciom, nowotworom jelita grubego, zmniejszają poziom cholesterolu, pobudzają układ odpornościowy. Wykorzystywane do produkcji jogurtów, kefirów, serów, kwaszonych przetworów owocowych i warzywnych

Związek bioaktywny	Działanie
Cholina i lecytyna	cholina zaliczana jest do witamin z grupy B, wraz z inozytem wchodzi w skład lecytyny, która wykazuje właściwości emulgujące. Bierze udział w przemianach tłuszczów i cholesterolu, hamując jego odkładanie się ścianach tętnic. Cholina poprawia pamięć, hamuje rozwój depresji i demencji starczej, choroby Alzheimer. Lecytyna wspomaga trawienie tłuszczów, obniża poziom cholesterolu we krwi, występuje w soi, jajach i rzepaku
Substancje fitochemiczne	metabolity roślinne, np. glikozydy, flawonoidy, izoprenoidy – przy odpowiednich stężeniach działają korzystnie, zaś w nadmiarze są toksyczne dla człowieka. Wykazują działanie przeciwnowotworowe (np. kapsaicyna z papryki, kurkumina z kurkumy, dadzeina z soi, ajoen z czosnku), pozytywny wpływ na profil lipidowy krwi, przeciwdziałając m.in. miażdżycy (np. luteina z jaj, likopen z pomidorów, katechiny z zielonej herbaty, resweratrol z czerwonego wina i pestek czerwonych winogron czy glutation z awokado) oraz działanie przeciwzapalne (np. kurkumina z kurkumy czy kapsaicyna z czerwonej papryki) – co tylko dowodzi, że większość substancji fitochemicznych ma działanie wielokierunkowe
Antyoksydanty	substancje, które choć występują w żywności w małych stężeniach, mają zdolność zapobiegania procesom utleniania lub znaczącego ich hamowania, eliminując z organizmu wolne rodniki. Zaliczane są do nich m.in. flawonoidy, kumaryny, związki fenolowe występujące w ziołach i przyprawach, katechiny i taniny występujące w herbacie; tokoferole, lignany, flawonoidy, kwasy fenolowe, fosfolipidy występujące w olejach i roślinach oleistych, np. słoneczniku czy sezamie, czy izoflawonoidy i kwasy fenolowe występujące w roślinach strączkowych

Źródło: Waszkiewicz-Robak i Świdorski 2005, s. 59–88.

Na rynku dostępnych jest coraz więcej produktów w ramach żywności funkcjonalnej, które zawierają związki bioaktywne. Są to:

- chleby, batony, płatki zbożowe, muesli z dodatkiem izoflawonów, które obniżają ryzyko zachorowania na raka piersi, prostaty, choroby serca i osteoporozę,
- płatki śniadaniowe, bułki, napoje z dodatkiem kwasu foliowego, który pomaga zmniejszyć ryzyko urodzeń noworodków z wadami cewy nerwowej,
- jaja z dodatkiem kwasów omega-3 – 3–4 wzbogacone jaja na tydzień dostarczają odpowiedniej ilości kwasów omega-3, by zmniejszyć ryzyko chorób serca,
- margaryny, mleczne napoje fermentowane z dodatkiem steroli i (lub) stanoli roślinnych obniżają poziom cholesterolu i zmniejszają ryzyko chorób serca.

Warunki stosowania żywności funkcjonalnej zapewniające uzyskanie korzystnych efektów zdrowotnych przedstawiono w tabeli 8.8.

**Tabela 8.8.** Przykładowe pobranie nutraceutyków wraz z żywnością funkcjonalną

Żywność	Nutraceutyki	Działanie	Warunki stosowania zapewniające korzystne efekty
Ryby (makrele, pstrąg, łosoś)	kwasy tłuszczowe n-3	obniżają poziom cholesterolu, działają przeciwzakrzepowo	dwie porcje tygodniowo
Sok pomidorowy	likopen	zmniejsza ryzyko prostaty	pół szklanki dziennie
Czosnek	organiczne związki siarkowe	obniża poziom cholesterolu i ciśnienie krwi	0,8 g (ok. 1 ząbek) dziennie
Soja	białka, fitoestrogeny	obniża poziom cholesterolu i ciśnienie krwi, redukuje ryzyko raka, wspomaga pracę nerek	25 g białka sojowego dziennie
Żurawina lub sok żurawinowy	proantocyjanidyny	zmniejsza ryzyko infekcji dróg moczowych	250–280 ml soku lub owoce w odpowiedniej ilości
Zielona herbata	związki polifenolowe	zmniejsza ryzyko choroby nowotworowej	4–6 filiżanek (po 150 ml każda) dziennie

Źródło: Waszkiewicz-Robak i Świdorski 2009, s. 42.

Bardzo dynamicznie rozwijającą się na rynku grupą żywności funkcjonalnej są napoje. Obejmują one:

- napoje oraz soki owocowo-warzywne zawierające kwas foliowy,
- napoje oraz soki owocowe lub owocowo-warzywne zawierające witaminy antyoksydacyjne (A, C, E), witaminy z grupy B,
- napoje oraz soki owocowe z wapniem,
- napoje oraz soki z błonnikiem,
- soki owocowe przeznaczone dla kobiet karmiących o odpowiednio dobranym składzie witamin i składników mineralnych,
- napoje zawierające probiotyki,
- kakao zawierające witaminy i wapń,
- herbatki odchudzające, owocowe z witaminami oraz składnikami mineralnymi,
- napoje energetyzujące,
- napoje izotoniczne,
- napoje funkcjonalne.

Wśród ciekawych pozycji na rynku napojów funkcjonalnych, dostępnych także na polskim rynku, pojawiają się (Hoffman i Jędrzejczyk 2007, s. 51–52;

Jaworska i Olczak 2010, s. 37–39; Stasiuk i in. 2015, s. 649; Antolak i Kręgiel 2017, s. 15–16):

- **napoje izotoniczne typu *light*** zawierające zamiast zwykłych składników dostarczających cukry substancje intensywnie słodzące;
- **napoje izotoniczno-energetyzujące** – napoje izotoniczne dodatkowo wzbogacone w składniki charakterystyczne dla napojów energetyzujących;
- **napoje „upiększające” (*beauty*)** zawierające substancje o działaniu nawilżającym, kojącym podrażnienia skóry i przeciwzapalnym, m.in. wyciąg aloesu, imbiru, hibiskusa. Nowością stanowią wody zawierające m.in. beta-karoten, likopen i witaminę C, poprawiające koloryt skóry, wspomagające proces opalania, oraz wody odmładzające – z dodatkiem aloesu, kolagenu, składników mineralnych (np. cynku) i witamin, w tym biotyny, witaminy C i E;
- **napoje hamujące apetyt i przyspieszające przemianę materii** – z dodatkiem błonnika pokarmowego, wyciągu z karczocha (poprawiającego funkcję trawienne), wyciągu z żurawiny (wspomagającej funkcjonowanie i leczącej łagodne podrażnienia układu moczowego). Niektóre wody zawierają naturalne olejki aromatyczne, pozyskiwane np. z pieprzu czy grejpfruta, którym przypisuje się działanie wspomagające spalanie tłuszczu w komórkach tłuszczowych;
- **napoje detoksykujące (*detox*)**, oczyszczające organizm ze szkodliwych produktów przemiany materii dzięki obecności wyciągu z żeń-szenia syberyjskiego, karczocha czy liści pokrzywy;
- **napoje zapewniające dobre samopoczucie (*harmony*)**, w tym wody relaksujące, redukujące stres (*chill out, relax*), zawierające ekstrakty ziołowe (melisa, rumianek, waleriana oraz lawenda, rozmaryn, tymianek, mięta, olejek różany, trawa cytrynowa, imbir, kardamon), a także wyciągi z chmielu, pączków róż, cytryny i skórki pomarańczowej oraz wody rewitalizujące, pobudzające (*wake up*) zawierające koenzym Q10, ekstrakt z miłorzębu, zielonej herbaty, yerba mate, orzeszki kola czy wyciągi z roślin takich jak pigwa, dziki kardamon, żeń-szeń, imbir, kwiat czarnego bzu, liść brzozy;
- **napoje *sharpen up*** – wspomagające koncentrację i procesy myślowe – dzięki zawartości kardamonu, yerba mate, guarany, rozmarynu czy ekstraktu z miłorzębu,
- **napoje wspomagające równowagę (*balance*)** – skierowane przede wszystkim do kobiet, zasobne w ekstrakty ziołowe – z melisy, rumianku, kwiatu lipy, wody witalizowana oraz z dodatkiem mikro- i makroelementów, których źródłem może być coraz powszechniej doceniane mleko kokosowe zasobne w wapń i magnez. W ramach tej grupy rozwijają się **napoje *self defence, health kick***, które dzięki zawartości takich roślin i wyciągów jak: echinacea, imbir, owoce czarnego bzu, tymianek, cynamon,

rozmaryn oraz miód z drzewa manuka, sok z owoców acai, nasiona dzikiego kardamonu, wspomagają układ odpornościowy. Składnikiem stymulującym odporność organizmu mogą być również: witamina C, cynk oraz szczepy bakterii probiotycznych, stosowane coraz częściej jako dodatek do napojów bezmlecznych;

- **napoje zapewniające sprawność fizyczną (*active*)**, przeznaczone dla osób amatorsko, choć systematycznie uprawiających sport, których zadaniem jest nawadnianie organizmu i uzupełnianie strat elektrolitów, delikatniej jednak niż w przypadku izotoników. Takie działanie zawdzięczają one obecności mikro- i makroelementów, witamin z grupy B, aminokwasów oraz tlenu;
- **napoje naturalne/ekologiczne**, zawierające tylko składniki naturalne, soki owocowe, wyciągi roślinne i cukry pochodzące z upraw ekologicznych;
- **bezmleczne napoje** obniżające poziom cholesterolu stworzone na bazie soków owocowych, aromatyzowanej wody mineralnej, z dodatkiem stanoli roślinnych;
- **napoje dla ludzi w podeszłym wieku**: z błonnikami – przyspieszające perystaltykę przewodu pokarmowego, z kolagenem – zwiększające ruchomość stawów, z likopenem – pomagające zachować dłużej sprawność wzroku;
- **gazowane napoje mleczne** z dodatkiem witamin i soków owocowych skierowane przede wszystkim do dzieci;
- **witaminizowane smakowe wody dla psów** – o aromacie kurczaka, wołowiny, wątróbki i jagnięciny.

W przyszłości do żywności funkcjonalnej będzie się dodawać **nutraceutyki**, czyli naturalnie wyekstrahowane i oczyszczone składniki z powszechnie dostępnych na rynku surowców: owoców, warzyw, mięs, alg, ryb – co pozwoli uzyskać potrawy o zwiększonej zawartości składników prozdrowotnych, a także składników obecnie występujących w kosmetykach, np. aloje vera, kolagen, ceramidy, dzięki czemu będzie można uzyskać tzw. żywność upiększającą. Coraz powszechniejsze będzie także stosowanie składników genetycznie zmodyfikowanych, w których **zmniejszono zawartość składników antyodżywczych**, a **zwiększono ilość składników prozdrowotnych**, deficytowych w żywieniu ludzi, np. olej z rzepaku bogaty w rzadko spotykany kwas gamma-linolenowy. Warto podkreślić, że konieczna jest popularyzacja wiedzy na temat żywności funkcjonalnej wśród konsumentów i promocja tej kategorii żywności. Dzięki temu możliwe będzie jej spożycie na odpowiednio wysokim poziomie, co pozwoli uzyskać pożądane efekty zdrowotne. Jednocześnie potrzebne jest kontynuowanie badań nad nutraceutykami, których celem byłoby opracowanie odpowiednich ich wielkości i podaży, by uniknąć ewentualnych działań niepożądanych.

## Literatura

- Alamgir A.N.M. (2017), *Classification of Drugs, Nutraceuticals, Functional Food, and Cosmeceuticals; Proteins, Peptides and Enzymes as Drugs*, „Therapeutic Use of Medicinal Plants and Their Extracts”, vol. 1, „Progress in Drug Research” 73.
- Antolak H., Kręgiel D. (2017), *Skład napojów funkcjonalnych a ich stabilność mikrobiologiczna*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 1(71).
- Balciunas E.M., Martinez F.A.C., Todorov S.D., Gombossy De Melo Franco B.D., Pinheiro De Souza Oliveira R. (2013), *Novel Biotechnological Applications of Bacteriocins: A Review*, „Food Control”, vol. 32.
- Belloir C., Neiers F., Briand, L. (2017), *Sweeteners and Sweetness Enhancers*, „Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care”, vol. 20(4).
- Carnoel Beltramo M., Dörong T., De Dea Londner J. (2018), *Sweeteners and Sweet Taste Enhancers in the Food Industry*, „Food Science Technology. Campinas”, vol. 38(2).
- Cybulska J., Zdunek A., Sitkiewicz I., Galus S., Janiszewska E., Laba S., Nowacka M. (2013), *Możliwości zagospodarowywania wytlóków i innych odpadów przemysłu owocowo-warzywnego*, „Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny”, vol. 9(57).
- Górecka D. (2007), *Nowe kierunki produkcji żywności funkcjonalnej i narzędzia jej promocji*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 6.
- Grajek W. (2007), *Przeciwutleniacze w żywności – aspekty technologiczne, molekularne i analityczne*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Harasym J., Bogacz-Radomska L. (2016), *Barwniki w żywności – historia wykorzystania, obecne źródła i perspektywy*, [w:] *Postęp cywilizacyjny – stan obecny i perspektywy*, red. M. Maciąg, F. Polakowski, Wydawnictwo Naukowe Tygiel, Lublin.
- Harasym J., Bogacz-Radomska L., Olędzki R. (2016), *Postęp cywilizacyjny w produkcji żywności – od żywności tradycyjnej do żywności funkcjonalnej*, [w:] *Postęp cywilizacyjny – stan obecny i perspektywy*, red. M. Maciąg, F. Polakowski, Wydawnictwo Naukowe Tygiel, Lublin.
- Hendry G.A.F., Houghton J.D. (1996), *Natural Food Colorants*, Blackie Academic & Professional, II ed.
- Hoffman M. (2018), *Substancje konserwujące i przeciwutleniacze*, [w:] *Żywność wygodna i żywność funkcjonalna*, red. F. Świdorski, Wydawnictwo WNT, Warszawa.
- Hoffman M., Jędrzejczyk H. (2007), *Napoje funkcjonalne nowej generacji*, „Agro Przemysł”, nr 3.
- Janiszewska E. (2014), *Microencapsulated Beetroot Juice as a Potential Source of Betalain*, „Powder Technology”, vol. 264.
- Janiszewska E., Witrowa-Rajchert D. (2006), *Mikrokapsułkowanie aromatów*, „Przemysł Spożywczy”, nr 5.
- Jaworska G., Olczak A. (2010), *Napoje bezalkoholowe nowe tendencje w produkcji*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 64(7/8).
- Kolanowski W. (2018), *Wzbogacanie żywności*, [w:] *Żywność wygodna i funkcjonalna*, red. F. Świdorski, Wydawnictwo WNT, Warszawa.

- Kostecka M., Czernecki T., Szot P. (2017), *Nutraceutyki szansa dla zdrowia współczesnych konsumentów*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 71(2).
- Kowalewska E., Litwinienko G. (2010), *Fenolowe antyoksydanty interwencyjne – aktywność i mechanizmy działania*, „Postępy Biochemii”, vol. 56(3).
- Makąła H. (2018), *Żywność funkcjonalna i jej znaczenie na współczesnym rynku*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 72(1).
- Markowska J., Polak E., Kasprzyk I. (2015), *Ziołowe surowce przyprawowe w przetwórstwie żywności*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 11(69).
- Miśniakiewicz M. (2017), *Identyfikacja i analiza trendów rozwojowych w przemyśle spożywczym w Polsce*, „Nierówność Społeczne a Wzrost Gospodarczy”, vol. 3(51).
- Nasri H., Baradaran A., Shirzad H., Rafieian-Kopaei M. (2014), *New Concepts in Nutraceuticals as Alternative for Pharmaceuticals*, „International Journal of Preventive Medicine”, vol. 5(12).
- Nishinari K., Fang Y., Guo S., Phillips G.O. (2014), *Properties and Applications of Soy Proteins*, [w:] *Gums and Stabilisers for the Food Industry 17: The Changing Face of Food Manufacture: The Role of Hydrocolloids*, red. P. Williams, G. Phillips, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 6 czerwca 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o bezpieczeństwie żywności i żywienia, Dz.U. 2019, poz. 1252.
- Ołdak A., Zielińska D. (2017), *Bakteriocyny bakterii fermentacji mlekowej jako alternatywa antybiotyków*, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej”, nr 71.
- Piszcz P., Wantusiak P., Głód B.K., (2010), *Antyoksydanty w produktach spożywczych, ich rola i właściwości*, „Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego”, nr 2.
- Rahman K. (2007), *Studies on Free Radicals, Antioxidants and Co-factors*, „Clinical Interventions in Aging”, nr 2.
- Reineccius G. (2019), *Use of Proteins for the Delivery of Flavours and Other Bioactive Compounds*, „Food Hydrocolloids”, nr 86.
- Rozporządzenie (WE) nr 2232/96 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 października 1996 r. ustanawiające wspólnotową procedurę dla substancji aromatycznych używanych lub przeznaczonych do użycia w lub na środkach spożywczych, Dz. Urzędowy UE, L 299, z 31.11.1996.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2016/1814 z dnia 13 października 2016 r. zmieniające załącznik do rozporządzenia (UE) nr 231/2012 ustanawiającego specyfikacje dla dodatków do żywności wymienionych w załącznikach II i III do rozporządzenia (WE) nr 1333/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do specyfikacji dla glikozydów stewiolowych (E 960), Dziennik Urzędowy UE, L 278/37 z 14.10.2016.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/1270 z dnia 14 lipca 2017 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania węgla potasu (E 501) w owocach i warzywach obranych, krojonych i rozdrobnionych, Dziennik Urzędowy UE, L 184/1 z 15.07.2017.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/1271 z dnia 14 lipca 2017 r. zmieniające załącznik III do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008



- w odniesieniu do stosowania dwutlenku krzemu (E 551) w azotanie potasu (E 252), Dziennik Urzędowy UE, L 184/3, z 15.07.2017.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/335 z dnia 27 lutego 2017 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania glikozydów stewiolowych (E 960) jako substancji słodzącej w niektórych wyrobach cukierniczych o obniżonej wartości energetycznej, Dziennik Urzędowy UE, L50/15 z 28.02.2017.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/378 z dnia 3 marca 2017 r. zmieniające załącznik I do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1334/2008 w odniesieniu do niektórych substancji aromatycznych, Dziennik Urzędowy UE, L 58/14 z 4.03.2017.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/839 z dnia 17 maja 2017 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania azotynów (E 249–250) w „golonce peklowanej”, Dziennik Urzędowy UE, L 125/7 z 18.05.2017.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/871 z dnia 22 maja 2017 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania kwasu fosforowego – fosforanów – di- tri- i polifosforanów (E 338-452) w określonych surowych wyrobach mięsnych, Dziennik Urzędowy UE, L 134/3 z 3.05.2017.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/874 z dnia 22 maja 2017 r. zmieniające załącznik III do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania butanu (E 943a), izobutanu (E 943b) i propanu (E 944) w preparatach barwnikowych, Dziennik Urzędowy UE, L 134/18 z 23.05.2017.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2018/74 z dnia 17 stycznia 2018 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania kwasu fosforowego – fosforanów – di- tri- i polifosforanów (E 338-452) w zamrożonym mięsie na rożnie pionowym, Dziennik Urzędowy UE, L 13/21 z 18.01.2018.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 2018/75 z dnia 17 stycznia 2018 r. zmieniające załącznik do rozporządzenia (UE) nr 231/2012 ustanawiającego specyfikacje dla dodatków do żywności wymienionych w załącznikach II i III do rozporządzenia (WE) nr 1333/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do specyfikacji dla celulozy mikrokrystalicznej (E 460 (i)), Dziennik Urzędowy UE, L 13/24 z 18.01.2018.
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1056/2012 z dnia 12 listopada 2012 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1332/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie enzymów spożywczych w odniesieniu do środków przejściowych, Dziennik Urzędowy UE, L 313/9 z 13.11.2012.
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 2016/1776 z dnia 6 października 2016 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w odniesieniu do stosowania sukralozy (E 955) jako wzmacniacza smaku w gumie do żucia z dodatkiem cukrów lub polioli, Dziennik Urzędowy UE L 272/2 z 7.10.2016.
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 231/2012 z dnia 9 marca 2012 r. ustanawiające specyfikacje dla dodatków do żywności wymienionych w załącznikach II i III do

- rozporządzenia (WE) nr 1333/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady, Dziennik Urzędowy UE, L 83/1 z 22.03.2012.
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 234/2011 z dnia 10 marca 2011 r. w sprawie wykonania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1331/2008 ustanawiającego jednolitą procedurę wydawania zezwoleń na stosowanie dodatków do żywności, enzymów spożywczych i środków aromatyzujących, Dziennik Urzędowy UE, L 64/15 z 11.03.1011.
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 257/2010 z dnia 25 marca 2010 r. ustanawiające program ponownej oceny dopuszczonych dodatków do żywności zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1333/2008 w sprawie dodatków do żywności, Dziennik Urzędowy UE, L 80/19 z 26.03.2010.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 lutego 2011 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie rozpuszczalników ekstrakcyjnych, które mogą być stosowane w produkcji żywności, Dz.U. Nr 52, poz. 272.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 4 września 2008 r. w sprawie rozpuszczalników ekstrakcyjnych, które mogą być stosowane w produkcji żywności, Dz.U. nr 177, poz. 1093.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1332/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie enzymów spożywczych, zmieniające dyrektywę Rady 83/417/EWG, rozporządzenie Rady (WE) nr 1493/1999, dyrektywę 2000/13/WE, dyrektywę Rady 2001/112/WE oraz rozporządzenie (WE) nr 258/97, Dziennik Urzędowy UE, L 354/7 z 31.12.2008.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności Dziennik Urzędowy UE, L 354 z 31.12.2008.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1334/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie środków aromatyzujących i niektórych składników żywności o właściwościach aromatyzujących do użycia w oraz na środkach spożywczych oraz zmieniające rozporządzenie Rady (EWG) nr 1601/91, rozporządzenia (WE) nr 2232/96 oraz (WE) nr 110/2008 oraz dyrektywę 2000/13/WE, Dziennik Urzędowy UE, L 354/34 z 31.12.2008.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 1331/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. ustanawiające jednolitą procedurę wydawania zezwoleń na stosowanie dodatków do żywności, enzymów spożywczych i środków aromatyzujących, Dziennik Urzędowy UE, L 354/1 z 31.12.2008.
- Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) nr 1321/2013 z dnia 10 grudnia 2013 r. ustanawiające unijny wykaz dozwolonych produktów początkowych dla środków aromatyzujących dymu wędzarniczego przeznaczonych do użycia w takiej postaci w środkach spożywczych lub na ich powierzchni lub do produkcji pochodnych środków aromatyzujących dymu wędzarniczego, Dziennik Urzędowy UE, L 333/54 z 12.12.2013.
- Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) nr 562/2012 z dnia 27 czerwca zmieniające rozporządzenie Komisji (UE) nr 234/2011 odnośnie do danych szczegółowych niezbędnych do oceny ryzyka związanego z enzymami spożywczymi, Dziennik Urzędowy UE, L 168/21 z 28.06.2012.

- Scientific Concepts of Functional Foods in Europe Consensus Document* (1999), „British Journal of Nutrition”, vol. 81.
- Shan B., Cai Y.Z., Sun M., Corke H. (2005), *Antioxidant Capacity of 26 Spice Extracts and Characterization of Their Phenolic Constituents*, „Journal of Agricultural and Food Chemistry”, vol. 53(20).
- Sip A. (2018), *Bakteriocyny bakterii fermentacji mlekowej – kierunki praktycznego wykorzystania*, Materiały III Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Drobnoustroje w świecie człowieka – Drobnoustroje oportunistyczne”, Bydgoszcz, 18–19 czerwca 2018 r.
- Stasiuk E., Przybyłowski P., Skrzypkowska N. (2015), *Analiza wybranych wskaźników wód funkcjonalnych typu active, balance i beauty*, „Bromatologia i Chemia Toksykologiczna”, vol. 4(58).
- Stolarzewicz I.A., Ciekot J., Fabiszewska A.U., Białecka-Florjańczyk E. (2013), *Roślinne i mikrobiologiczne źródła przeciwutleniaczy*, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej”, nr 67.
- Świdorski F., Waszkiewicz-Robak B. (2018), *Hydrokoloidy jako substancje kształtujące strukturę*, [w:] *Żywność wygodna i żywność funkcjonalna*, red. F. Świdorski, Warszawa.
- Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia, Dz.U. 2006 nr 171, poz. 1225.
- Waszkiewicz-Robak B. (2018a), *Barwniki*, [w:] *Żywność wygodna i żywność funkcjonalna*, red. F. Świdorski, Wydawnictwo WNT, Warszawa.
- Waszkiewicz-Robak B. (2018b), *Substancje słodzące*, [w:] *Żywność wygodna i żywność funkcjonalna*, red. F. Świdorski, Wydawnictwo WNT, Warszawa.
- Waszkiewicz-Robak B., Świdorski F. (2005), *Substancje prozdrowotne i biologicznie aktywne jako składniki żywności funkcjonalnej*, [w:] *Naturalne dodatki do żywności*, red. A. Rutkowski, Konin.
- Waszkiewicz-Robak B., Świdorski F. (2009), *Nutraceutyki – dodatki prozdrowotne i bioaktywne składniki żywności*, „Przemysł Spożywczy”, vol. 9(63).
- Wilde P.J. (2014), *Protein Functional Properties*, [w:] *Gums and Stabilisers for the Food Industry*, [w:] *The Changing Face of Food Manufacture: The Role of Hydrocolloids*, red. P. Williams, G. Phillips, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Wu Y., Wang T. (2003), *Soybean Lecithin Fractionation and Functionality*, „Journal of the American Oil Chemists’ Society”, vol. 80(4).
- Zalewski S., Jędrzejczyk H. (2018), *Preparaty białkowe*, [w:] *Żywność wygodna i żywność funkcjonalna*, red. F. Świdorski, Wydawnictwo WNT, Warszawa.
- Zaręba D., Ziarno M. (2017), *Barwniki naturalne: Zastosowanie żywności barwiącej w produktach mleczarskich*, „Forum Mleczarskie. Biznes”, vol. 2(28), www.forum-mleczarskie.pl (dostęp: 25.03.2019).
- Zawirska-Wojtasiak R. (2005), *Naturalne a syntetyczne aromaty, barwniki i konserwanty (stan i perspektywy)*, [w:] *Naturalne dodatki do żywności*, red. A. Rutkowski, Konin.

# GOSPODAROWANIE KOMUNALNYMI OSADAMI ŚCIEKOWYMI W ŚWIETLE GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

## 9.1. Główne kierunki zagospodarowania odpadów

Generowanie odpadów jest nierozzerwalnie związane z postępującą konsumpcją i procesem starzenia się produktów (Wilson i in. 2015). W myśl ustawy o odpadach (Dz.U. 2013, poz. 21) odpad jest to każda substancja lub przedmiot, którego posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub jest obowiązany do zagospodarowania. Zgodnie z art. 4. tej ustawy, odpady klasyfikuje się według odpowiedniej grupy, podgrupy i rodzaju odpadów, uwzględniając:

- 1) źródło ich powstawania,
- 2) właściwości określone w rozporządzeniu UE nr 1357/2014 i w rozporządzeniu UE 2017/997 oraz przepisy wydane na podstawie art. 3 ust. 5,
- 3) składniki odpadów, dla których przekroczenie wartości granicznych stężeń substancji niebezpiecznych może powodować, że odpady są odpadami niebezpiecznymi.

Ustawodawca podaje także definicję odpadów medycznych, przez które rozumie się odpady powstające w związku z udzielaniem świadczeń zdrowotnych oraz prowadzeniem badań i doświadczeń naukowych w zakresie medycyny.

Odrębną grupę stanowią odpady komunalne. Są to odpady powstające w gospodarstwach domowych, z wyłączeniem pojazdów wycofanych z eksploatacji, a także odpady niezawierające odpadów niebezpiecznych, pochodzące od innych wytwórców odpadów, które ze względu na swój charakter lub skład są podobne do odpadów powstających w gospodarstwach domowych. Co warto podkreślić, odpady komunalne podległe procesowi zmieszania, w dalszym etapie zagospodarowania, pozostają zmieszanymi odpadami komunalnymi, nawet jeżeli zostały poddane czynności przetwarzania odpadów, które nie zmieniły w sposób znaczący ich właściwości.

W myśl wspomianej ustawy przez komunalne osady ściekowe rozumie się pochodzący z oczyszczalni ścieków osad z komór fermentacyjnych oraz innych instalacji służących do oczyszczania ścieków komunalnych oraz innych ścieków o składzie zbliżonym do składu ścieków komunalnych.

Osobno traktowane są także w zapisach ustawy odpady weterynaryjne – rozumiane jako odpady powstające w związku z badaniem, leczeniem zwierząt lub świadczeniem usług weterynaryjnych, a także w związku z prowadzeniem badań naukowych i doświadczeń na zwierzętach.

Wydzielano również odpady zielone, przez które rozumie się odpady komunalne stanowiące części roślin pochodzących z pielęgnacji terenów zielonych, ogrodów, parków i cmentarzy, a także z targowisk, z wyłączeniem odpadów z czyszczenia ulic i placów. Ustawa definiuje ponadto odpady ulegające biodegradacji, przez które rozumie się odpady, które ulegają rozkładowi tlenowemu lub beztlenowemu przy udziale mikroorganizmów. W zakresie możliwości zbiorowego przetwarzania odpadów (ZPO) komunalnych, w tym także żywności, na poszczególnych etapach cyklu życia produktu można stosować całą gamę działań. Szczególne znaczenie mają tutaj odpady zielone (bioodpady) (*green waste* – GW).

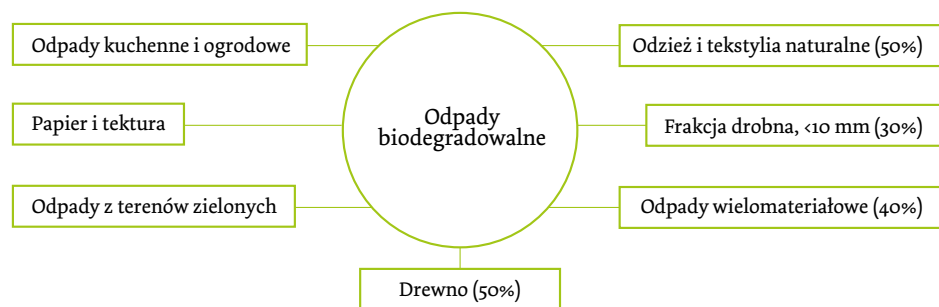
Obecnie powszechniejszą praktyką staje się oddzielne zbieranie zielonej frakcji odpadów ze strumienia odpadów, po to, aby nie trafiły do składowania. Sprawy zagospodarowania odpadów biodegradowalnych, w tym odpadów zielonych, regulowane są przepisami prawa. Główny koszt podczas zagospodarowania odpadów, w tym odpadów zielonych, wynika z ich odbioru i transportu na składowiska lub do zakładów przetwarzania (Lopez 2000). W przypadku miast odpady zielone zwykle składają się z drewna i kory, gałęzi z przycinanych drzew i krzewów, martwych i zielonych liści, ścinek trawy oraz gleby, pochodzą głównie z parków miejskich, ogrodów, rezerwatów i wreszcie mieszkań. Wciąż jest jednak mało doniesień naukowych w tym zakresie (Lu i in. 2017), w szczególności w odniesieniu do gospodarki o obiegu zamkniętym (Tisserant i in. 2017, McDowal i in. 2017).

Wśród kierunków zagospodarowania odpadów nadal najpopularniejszym sposobem jest ich składowanie, a następnie recykling oraz spalanie (Tisserant i in. 2017). Jednym z poważniejszych następstw składowania odpadów, w tym zwłaszcza frakcji organicznej, jest emisja metanu (Ackerman 2000). Również spalanie odpadów stałych powoduje emisję substancji szkodliwych do atmosfery. Zagospodarowanie odpadów, w tym frakcji organicznej, może być jednak alternatywne. Tylko w 2016 r. w obszarze metropolitalnym Rennes funkcjonowało 400 obszarów kompostowania, które rocznie wyprodukowały 48 Mg (ton) kompostu. W ten sposób nawóz organiczny był wykorzystywany na miejscu jego powstania, w pobliskich parkach, prywatnych ogrodach, a nawet na wysadzanych roślinami ozdobnymi balkonach (Bahers i Giacchè 2019).

Zagospodarowanie odpadów było przedmiotem wielu aktów prawnych. Już w 2001 r. w Polsce wydano rozporządzenie, w myśl którego: „gospodarowanie odpadami, to: zbieranie, transport, odzysk i unieszkodliwianie odpadów, w tym również nadzór nad takimi działaniami oraz nad miejscami unieszkodliwiania odpadów” (Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, Dz.U. z 2010 r. nr 185, poz. 1243, ze zm.). Współcześnie w dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2018/851/UE z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie odpadów oraz uchylającej niektóre dyrektywy (Dz.Urz. UE L 312 z 22.11.2008, s. 3, z późn. zm.), jak i nowelizacja zapisów zawartych w Krajowym Planie Gospodarki Odpadami (KPGO) pojawiły się priorytety postępowania z odpadami. W tych zapisach istnieje wyraźna hierarchia. Nadrzędnym celem powinno być zapobieganie powstawaniu odpadów, następnie zapewnienie ich przygotowania do ponownego użycia, recykling, a dopiero w dalszej kolejności inne procesy odzysku, a w ostateczności unieszkodliwianie. W konsekwencji tych zapisów należy się spodziewać w zakresie gospodarki odpadami dążenia krajów Unii Europejskiej do stworzenia swoistego „społeczeństwa recyklingu”, którego nadrzędnym celem w zakresie zagospodarowania odpadami będzie unikanie ich wytwarzania, a w efekcie wykorzystywanie ich jako zasobów (dyrektywa 2018/851 UE).

W skali krajowej za podstawę gospodarowania odpadami uważa się zapisy we wspomnianym już KPGO, którego obecne ramy czasowe sięgają 2022 r. Podstawę prawną do jego opracowania stanowi Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. z 2013 r., poz. 21, z późn. zm.), zwaną „ustawą o odpadach”, zgodnie z którą plany gospodarki odpadami podlegają aktualizacji nie rzadziej niż co 6 lat. Konieczność aktualizacji KPGO opracowanego w 2014 r. wynika wprost ze spełnienia jednego z kryteriów warunku wstępnego dla gospodarki odpadami, ustanowionego dla nowej perspektywy finansowej UE na lata 2014–2020.

### Rysunek 9.1. Klasyfikacji frakcji odpadów biodegradowalnych



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Uchwała nr 88... 2016.

## 9.2. Strategia gospodarowania komunalnymi osadami ściekowymi

Dynamiczny rozwój sieci kanalizacyjnych oraz oczyszczalni ścieków komunalnych prowadzi do powstawania dużych ilości komunalnych osadów ściekowych, które również należy traktować jak odpad (Bertanza i in. 2019). Ze względu na budowę nowych oczyszczalni ścieków oraz modernizację i rozbudowę istniejących, prognozuje się, że ilość komunalnych osadów ściekowych wymagających zagospodarowania będzie wzrastała.

Oczyszczanie ścieków komunalnych odbywa się na coraz wyższym poziomie, czego efektem są ścieki oczyszczone o bezpiecznych właściwościach. W procesie oczyszczania ścieków powstają osady ściekowe, które często generują obciążenia finansowe dla zakładów gospodarki komunalnej. W ciągu technologicznym oczyszczalni ścieków można wyodrębnić dwa zasadnicze rodzaje osadów (Gianico i in. 2019):

- osad wstępny, powstający w wyniku sedymentacji łatwo opadających zawiesin organicznych, realizowanej w osadnikach wstępnych,
- osad po biologicznym oczyszczaniu ścieków (osad wtórny), powstający w wyniku przyrostu biomasy i zatrzymywania w osadnikach wtórnych, a następnie oddzielony od osadu recykulowanego.

Należy mieć na uwadze, że oba rodzaje osadów powstają zawsze w przypadku oczyszczalni ścieków, w której proces biologicznego oczyszczania odbywa się z wykorzystaniem złóż biologicznych. Stosując technologię osadu czynnego, można otrzymywać dwa rodzaje osadów lub tylko drugi jego rodzaj, jako nadmierny osad czynny (Heidrich i Tiunajtis 2008). Osady ściekowe stanowią poważne obciążenie finansowe w procesie oczyszczania ścieków. Odpowiednie ich zagospodarowanie pozwoli na zmniejszenie kosztów oraz zwiększy bezpieczeństwo dla środowiska naturalnego (Tomei i in. 2016). Komunalne osady ściekowe zgodnie z zapisami ustawy o odpadach z 2012 r. są uciążliwym odpadem. Stanowi to niemały problem dla eksploatatorów oczyszczalni wytwarzających osady ściekowe. Ilość osadów powstających w oczyszczalniach ścieków jest pochodną stosowanych metod ich oczyszczania. Powszechnie układach technologicznych w procesie oczyszczania ścieków stosowane jest usuwanie związków węgla organicznego lub związków azotu i fosforu. (Berant i in. 2019, Ingantowicz i Oksiuta 2018).

Według strategii Ministerstwa Środowiska (2018), w celu zapewnienia właściwego sposobu postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi przyjmuje się następujące założenia:

- zapobieganie powstawaniu i zmniejszanie ilości komunalnych osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków, stanowiących odpady, oraz wyeliminowanie wytwarzania komunalnych osadów ściekowych, które z uwagi na jakość stwarzają problemy z ich zagospodarowaniem;
- termiczne przekształcanie, stosowanie na powierzchni ziemi, produkcję nawozów lub środków wspomagających uprawę roślin lub inne;
- zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych przetwarzanych przed wprowadzeniem do środowiska oraz zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych poddanych termicznemu przekształcaniu;
- dążenie do maksymalizacji stopnia wykorzystania substancji biogenych zawartych w osadach, przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów dotyczących bezpieczeństwa sanitarnego, chemicznego oraz środowiskowego.

Do czasu gdy pierwiastki zostaną odzyskane, komunalne osady ściekowe powinny być przetworzone poprzez odwadnianie, stabilizację (poddawanie biochemicznym procesom lub przeróbce termicznej) i suszenie w procesie przystosowania do nowoczesnej gospodarki obiegu zamkniętego (Sikorska 2019). Odzysk substancji i pierwiastków może nastąpić dwukrotnie. Gatunki roślin o zdolnościach fitoekstrakcyjnych umożliwiają oczyszczanie podłoża z metali ciężkich, obniżanie zasolenia w podłożu oraz odzysk substancji biogenych (Pilnáček i in. 2019), zamykając cykl krążenia pierwiastków (rys. 9.2).

**Rysunek 9.2.** Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych i etapy odzysku



Źródło: opracowanie własne.



### 9.3. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji obszarów zdegradowanych

Jedną z kategorii odpadów są komunalne osady ściekowe. W związku z tym, że stosowanie osadów ściekowych o 1 stycznia 2016 r. jest niedozwolone, najwłaściwszym alternatywnym przyjaznym środowisku rozwiązaniem jest rekultywacja obszarów zdegradowanych za pomocą substratów glebowych z osadami ściekowymi dokonywana przez działalność przemysłową. Zgodnie z zaleceniami Komisji Helsińskiej (Helcom 2019) z 1 marca 2017 r. Polska powinna wdrożyć racjonalną gospodarkę osadami ściekowymi, by wykorzystać wartościowe właściwości i ich potencjał. Właściwe jest wprowadzenie nowych regulacji prawnych, obejmujących ochronę środowiska naturalnego oraz technologii, której celem jest bezpieczeństwo ludzi. Upowszechnienie koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym przez realizację projektów współpracy jest obecnie priorytetowe (Nowaczek i in. 2019). Racjonalne zarządzanie komunalnymi oczyszczalniami ścieków, w myśl gospodarki o obiegu zamkniętym, wymaga działań systemowych i odpowiedniego wprowadzenia przez teoretyków (Schroeder i in. 2019) i sprawdzenia przez wielu ekspertów i praktyków na skalę europejską (Jastrzębska 2019).

Osady ściekowe powstające w oczyszczalniach ścieków bytowych i przemysłowych są odpadem w procesie oczyszczania, co nie oznacza, że nie wykazują wysokiego potencjału do zastosowania (rys. 9.2). Projektowanie planu rekultywacji polegającego na wykorzystaniu mieszanek z osadami ściekowymi – przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów prawnych – jest ważnym aspektem w ochronie środowiska (Collivignarelli i in. 2019). W związku z tym opracowanie biologicznej metody zagospodarowania osadów ściekowych powinno stać się ważne, przy czym należy wykorzystać europejskie fundusze strukturalne i innowacyjne. Technologie oparte na ściekach i osadach ściekowych jako potencjalnym substracie materiałowym idealnie wpisują się w koncepcję gospodarki o obiegu zamkniętym (Werle i Sobek 2019). W Polsce należy wprowadzać elementy gospodarki obiegu zamkniętego w oczyszczalni ścieków (Sikoń 2019), w tym również „innowacyjne technologie odzysku materiałowego ze ścieków”, zgodne z Krajową Inteligentną Specjalizacją: KIS 7. Gospodarka o obiegu zamkniętym – woda, surowce kopalne, odpady Ministerstwa Przedsiębiorczości i Technologii. Opracowanie metod dotyczących utrzymania bezpieczeństwa sanitarnego i chemicznego zagospodarowania osadów ściekowych jest nawet priorytetowe w skali europejskiej. Innowacyjna rekultywacja gleb zdegradowanych związana z odtwarzaniem powierzchniowej (inicjalnej) warstwy podłoża/gruntu poeksploatacyjnego należy właśnie do takiej strategii.

Jednym z palących problemów na obszarach zdegradowanych jest słaba zdolność roślin do właściwego wzrostu i rozwoju. Osady ściekowe w postaci mieszanki nadają do odtwarzania właściwości gleby inicjalnej, a zarazem rekultywacji terenu. Po zakończeniu eksploatacji przepisy prawa w Polsce zobowiązują do odpowiedniego zagospodarowania i nakazują, by stworzyć odpowiednie warunki glebowe, zgodnie z ustawą o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. 1995 nr 16, poz. 78, z późn. zm.). Spodziewanym rezultatem ma być polepszenie właściwości hydrofizycznych gruntów poeksploatacyjnych i polepszenie predyspozycji roślin do prawidłowego wzrostu i rozwoju (Halecki i Klatka 2018).

Najczęściej przyczynami ograniczonego wzrostu roślin na terenach zdegradowanych są niesprzyjające właściwości fizyko-chemiczne oraz niewielki poziom warstwy próchnicznej. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie dodatków (substratu) do osadów ściekowych, które wraz z nimi będą potencjalnym podłożem dla rozwoju roślin. Substraty do osadów ściekowych to mineralno-organiczne podłoże biologiczne, które powinno mieć szerokie zastosowanie w rekultywacji (Nguyen i Shima 2019). Postęp techniczny umożliwia przeprowadzenie zagospodarowania osadów ściekowych, poprzez innowacyjne rozwiązania, w sposób bardziej efektywny, zgodny z gospodarką o obiegu zamkniętym (Gherghel i in. 2019). Kierunkiem przewodnim prac musi być poprawa właściwości fizykochemicznych gruntów poeksploatacyjnych w procesie rekultywacji i wytworzenie gleby inicjalnej (Shaddel i in. 2019) oraz ocena zdolności fitoremediacyjnych roślin. Gleby zdegradowane poddawane procesom remediacji cechują się na ogół słabym przystosowaniem dla roślin wielogatunkowych. Prawidłowo zrehabilitowany teren powinien składać się z kilku warstw: podłoże skalne, zgranulowany materiał oraz mieszanka z osadami ściekowymi. Do nasadzeń nadają się drzewa, krzewy, rośliny ogrodowe i rośliny uprawne (rys. 9.3). Na obszarach zdegradowanych możliwa jest uprawa roślin po odpowiednio przygotowanym terenie oraz wprowadzenie do podłoża materiału trwałego, poprawiającego strukturę gruntu poeksploatacyjnego (Halecki i Klatka 2017). Dodatkowo odkrycie zalet nowej metody ich zagospodarowania jest istotne w gospodarce wodno-ściekowej, podążającej w kierunku obiegu zamkniętego (Gherghel i in. 2019).

Przed wprowadzeniem osadów ściekowych do środowiska przyrodniczego wymagane są wstępne badania. Biorąc pod uwagę skład osadów ściekowych, mogą one być z powodzeniem stosowane jako skuteczny substrat, zastępując wykorzystanie nawozów mineralnych. Wykorzystanie osadów ściekowych w rekultywacji powinno stać się ważnym elementem w kierunkach zagospodarowania oraz sposobem odtworzenia i poprawy fizyko-chemicznych właściwości zdegradowanych gleb. Rośliny nasadzone na osadach ściekowych w terenie poeksploatacyjnym wykazują zdolność do pobierania i akumulacji metali ciężkich.

Dodatki do osadów ściekowych przyczynią się do zwiększenia składników biogennych niezbędnych do rozwoju roślin oraz materii organicznej na różnych typach gleb zdegradowanych (Halecki i Klatka 2017). Jednocześnie spełniają one wszystkie wymogi dotyczące bezpieczeństwa sanitarnego i chemicznego (Halecki i in. 2016).

**Rysunek 9.3.** Warstwy prawidłowo zrehabilitowanego terenu



Źródło: Halecki i Klatka 2018.

Osady ściekowe stanowią cenne źródło substancji odżywczych (rys. 9.4) i materii organicznej, stąd duże ich znaczenie na terenach zdegradowanych, ubogich w próchnicę. Przy przywracaniu wartości użytkowej liczy się ich odzysk z osadów ściekowych, a w szczególności azotu ogólnego i fosforu ogólnego do prawidłowego rozwoju roślin (Halecki i Klatka 2018). Zastosowane osady ściekowe z odpowiednimi dodatkami mogą być wykorzystane do upraw o specjalnym przeznaczeniu, np. pod rośliny energetyczne (miskant olbrzymi *Miscanthus x giganteus*), oleiste i na zieloną masę (rośliny przemysłowe, takie jak słonecznik zwyczajny *Helianthus annuus* L. i rzepak *Brassica napus* L.) lub na nasiona (szarłat wyniosły *Amaranthus cruentus*). Biorąc to pod uwagę oraz uzyskane plony roślin, substrat glebowy z osadami ściekowymi można uznać jako odpowiednie podłoże do produkcji roślinnej (Halecki i Klatka 2018).

**Rysunek 9.4.** Porównanie zakresów koncentracji azotu ogólnego i fosforu ogólnego w osadach ściekowych odwodnionych i uwodnionych



Źródło: Halecki i in. 2016.

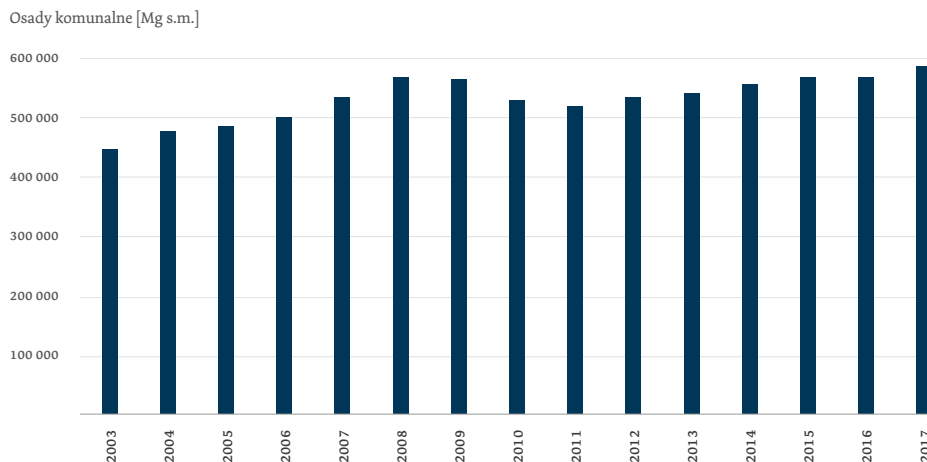
Maksymalizacja stopnia wykorzystania substancji biogenych z komunalnych osadów ściekowych przez rośliny jest wysoka. Gatunki roślin muszą zostać odpowiednio wyselekcjonowane oraz charakteryzować się odpornością na zasolenie podłoża. Zdolności fitoremediacyjne można ocenić, mierząc stężenie związków biochemicznych i parametrów fizjologicznych roślin (Halecki i in., *Biochemical...*). Wybrane właściwości fizyczno-chemiczne gleb zdegradowanych należy weryfikować, wykorzystując odpowiednio przygotowane wskaźniki jakości zdegradowanych gleb (Halecki i Klatka, *Evaluation...*). W związku z prawidłowym rozwojem roślin należałoby uwzględnić osady ściekowe jako trwałe materiały biologiczne w integrowaniu procesu rekultywacji oraz przywracaniu terenom zdegradowanym wartości użytkowej, np. w wypadku odpadów poflotacyjnych, budowlanych i po wydobyciu surowców skalnych. Dlatego w celu zachowania intensywnego wzrostu roślin osady ściekowe aplikowane w postaci mieszanek (substraty, polepszacze gleby) należy zaklasyfikować jako surowiec do nawożenia roślin. Efektywne ich wykorzystanie w mieszance w formie substratu sprzyja odtworzeniu warstwy organicznej gruntu poeksploatacyjnego i aktywności biochemicznej gleby inicjalnej (Halecki i in., *Biochemical...*).

Osady ściekowe powstające w oczyszczalni ścieków należy przetwarzać na nieszkodliwe produkty końcowe i usunięte z terenu oczyszczalni. Na rysunku 9.5 przedstawiono ilość powstających komunalnych osadów ściekowych w Polsce w latach 2003–2017. Surowe osady ściekowe są niebezpieczne dla środowiska przyrodniczego, dlatego należy poddać je procesowi stabilizacji.

Na rysunku 9.6 ukazano z kolei możliwe metody stabilizacji osadów ściekowych. W przypadku realizacji procesów biologicznych stosuje się najczęściej fermentację, kompostowanie lub tlenową stabilizację osadów. Dodawanie wapna do osadów po prasie filtracyjnej może z powodzeniem być stosowane na małych lokalnych oczyszczalniach ścieków. Powstały w ten sposób substrat po przeprowadzeniu procedury przewidzianej przez Ministerstwo Rolnictwa

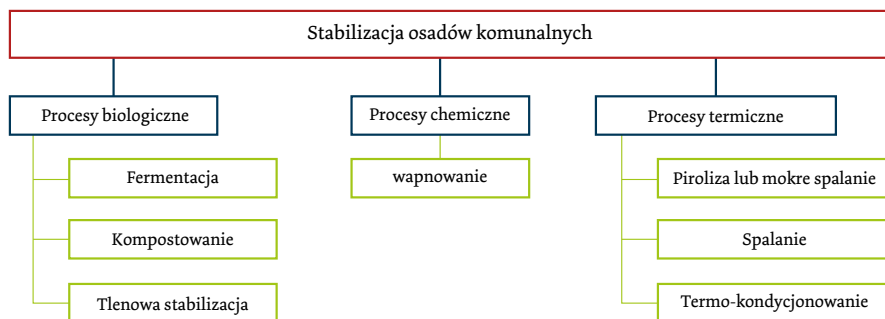
może być przekształcony w produkt poprawiający własności gleby i sprzyjający rozwojowi roślin.

**Rysunek 9.5.** Zestawienie ilości powstających komunalnych osadów ściekowych w Polsce w latach 2003–2017



Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS, 2017.

Jedną z podstawowych metod zagospodarowania odpadów organicznych, w tym także komunalnych osadów ściekowych, jest ich kompostowanie. Jest to złożony proces, w którym w kontrolowanych warunkach dochodzi do rozkładu tlenowego materiałów organicznych przez mikroorganizmy. Podczas kompostowania tlen jest zużywany przez mikroorganizmy w czasie rozkładu materii organicznej. Proces ten prowadzi do wytworzenia ciepła, CO<sub>2</sub> oraz pary wodnej. Ponadto na skutek tych procesów straty wody w kompostowanej materii organicznej mogą dochodzić nawet do 50% masy początkowej. W konsekwencji prowadzi to do redukcji masy i objętości materiału wsadowego użytego do kompostowania (Pace i in. 1995). Proces ten, obok fermentacji beztlenowej, należy do metod biochemicznych przeróbki odpadów biologicznych (Manczarski 2007). Kompostowanie odpadów organicznych jest w zasadzie odwzorowaniem naturalnych reakcji biochemicznych przebiegających w glebie (mineralizacja, humifikacja), zintensyfikowanych w sztucznie wytworzonych i kontrolowanych warunkach. Co ważne, w procesie kompostowania, następuje unieszkodliwienie odpadów pod względem sanitarnym, a produktem finalnym jest kompost, który (pod warunkiem spełnienia rygorystycznych przepisów dotyczących m.in. zawartości metali ciężkich czy obecności organizmów patogennych) może być wykorzystany w dalszym etapie przetwarzania (Bahers i Giacchè 2019).

**Rysunek 9.6.** Podstawowe sposoby stabilizacji osadów komunalnych

Źródło: Iskra, Miodoński 2014.

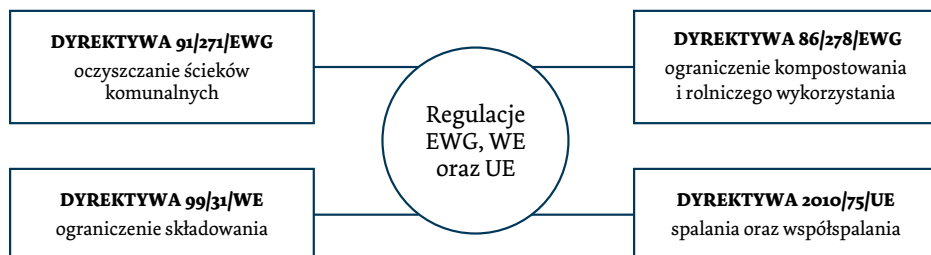
Zalecenie przedstawione przez M. Żygadło (2009) wskazują, że na proces kompostowania wpływa wiele czynników, takich jak:

- skład kompostowanego materiału – zasadniczy wpływ na tempo kompostowania,
- temperatura – wysoka temperatura istotnie wpływa ona na możliwość rozwoju mikroorganizmów,
- wilgotność kompostowanego materiału – optymalna wynosi ok. 50%,
- dostępność powietrza – mikroorganizmy wykorzystują tlen w procesie przemiany materii, a co za tym idzie – niedostateczna jego ilość może spowodować obniżenie ich aktywności.

Najprostszą i zarazem najstarszą metodą jest kompostowanie przyzmore, które można przeprowadzać w warunkach naturalnych. Wykorzystuje się tutaj przyzmy otwarte (bez przygotowania i z rozdrabnianiem wstępnym), osłonięte lub otwarte (z rozdrabnianiem i ze sterowaniem wstępnym procesu rozkładu) oraz stałe lub czasowo osłonięte. Bardziej skomplikowane i kosztowniejsze jest kontenerowe kompostowanie odpadów organicznych (Rosik-Dulewska 2016).

Istotne ograniczenia w zakresie stosowania osadów ściekowych dla rolniczego ich wykorzystania wprowadziła dyrektywa 86/278/EWG. Z kolei dyrektywa 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych wywołała skutki prawne znaczące dla zaostrzenia przepisów w zakresie oczyszczania ścieków, czego wynikiem jest wzrost masy osadów ściekowych. Dyrektywa 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów ustanowiła zakaz składowania osadów ściekowych. Dyrektywa 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych promuje ograniczenie spalania osadów ściekowych. Wszystkie wymienione wyżej dokumenty wskazują, że preferowane jest spalanie osadów ściekowych. Na rysunku 9.7 uwzględniono ewolucję podejścia do zagospodarowania osadów ściekowych.

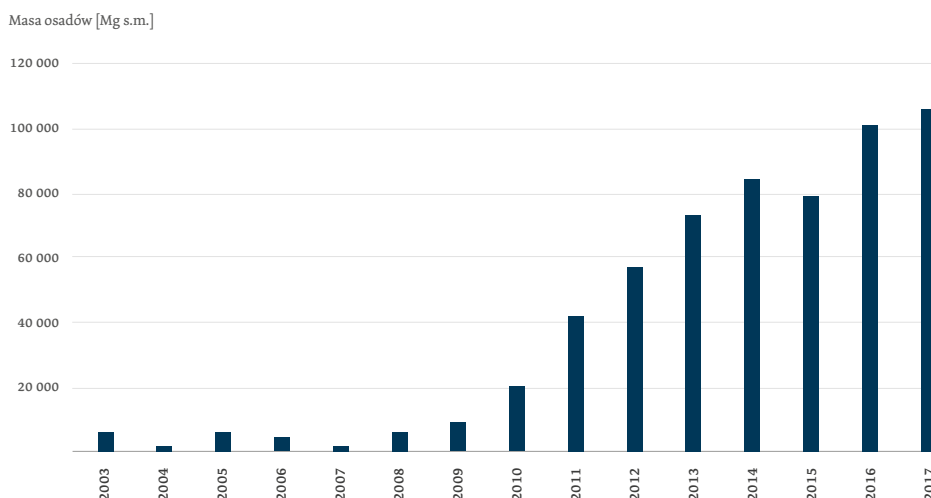
**Rysunek 9.7.** Regulacje prawne Unii Europejskiej w ujęciu historycznym w zakresie zagospodarowania osadami ściekowymi



Źródło: opracowanie własne.

Według danych GUS (2017) zamieszczonych na rysunku 9.8 coraz częściej stosuje się procesy termiczne w procesie zagospodarowania osadów ściekowych. Zgodnie z zaleceniami zawartymi w Krajowych Inteligentnych Specjalizacjach (Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii 2019) osady ściekowe są promowane do celów energetycznych (KIS 7. Gospodarka o obiegu zamkniętym – woda, surowce kopalne, odpady). Odzyskana w tym procesie energia może być wykorzystana poprzez politykę krajową, w zakresie rozwoju gospodarczego.

**Rysunek 9.8.** Zestawienie powstających komunalnych osadów ściekowych przekształcanych termicznie w latach 2003–2017



Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS 2017.

Na rysunku 9.8 zilustrowano ilość osadów ściekowych przekształcanych termicznie w latach 2003–2017. Widać wyraźny wzrost ilości osadów ściekowych przekształcanych termicznie. W latach 2003–2009 obserwowano wartości osadów przekształcanych termicznie na średnim poziomie, nieprzekraczającym 5 tys. Mg s.m. na rok. Zdecydowany wzrost obserwuje się od 2010 r., gdy z poziomu 19 818 Mg s.m. na rok ilość osadów poddawanych procesom termicznym wzrosła do poziomu 106 tys. Mg s.m. na rok.

W Polsce, w dużych miastach (Bydgoszcz, Gdańsk, Gdynia, Kielce, Kraków, Łódź, Warszawa) spalanie osadów z oczyszczalni ścieków oparte jest na rozwiązaniach technologicznych, wykorzystujących palenisko fluidalne ze złożem stacjonarnym oraz z niezintegrowanym z komorą spalania. W procesach stosuje się zewnętrzne wymienniki ciepła.

Obecnie wykorzystuje się procesy termiczne przeróbki osadów ściekowych (piroliza, spalanie, termokondycjonowanie). Monospalarnie stanowią kompleksowe i trwałe rozwiązanie problemu unieszkodliwiania komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi (spalania). To rozwiązanie jest bardziej korzystne, w odróżnieniu od kierowania ich granulatu do współspalania w innych instalacjach termicznych. Wynika to z wielu dodatkowych aspektów, w tym (Ministerstwo Środowiska 2018):

- możliwości odzysku energii z procesu spalania osadów i wykorzystania jej do procesu ich suszenia,
- optymalizacji kosztów eksploatacyjnych,
- niezależności od innych podmiotów, biorących pośrednio udział w procesie zagospodarowania osadów, co ma miejsce w przypadku współspalania osadów,
- potencjalnego odzysku fosforu z popiołów.

#### 9.4. Technologie termicznej utylizacji osadów ściekowych oraz parametry ich spalania

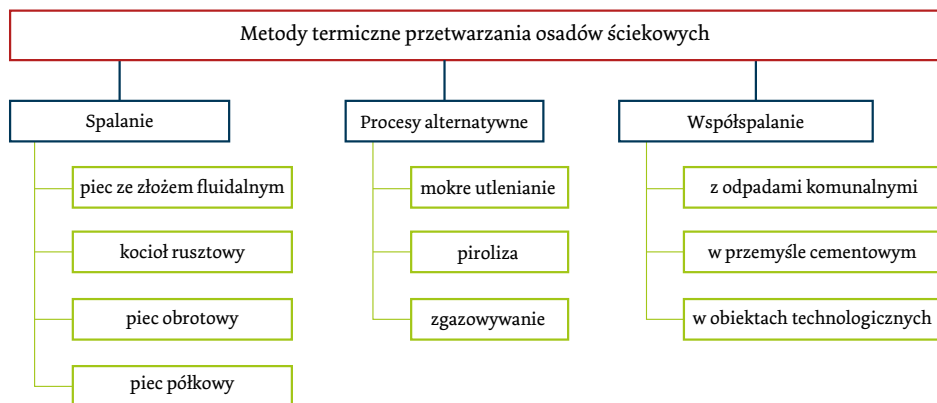
Do termicznych metod utylizacji osadów ściekowych można zaliczyć spalanie, współspalanie, jak również procesy alternatywne (mokre utlenianie, piroliza oraz zgazowanie). Substancje powstałe podczas tych procesów muszą być poddane spalaniu. Metody te przedstawiono na rysunku 9.9.

Ilość ciepła wyzwolana w procesie spalania jest zużywana w pierwszej kolejności na podgrzanie paliwa do temperatury spalania i podtrzymania procesu oraz odparowanie wody i przegrzanie powstałej pary wodnej. W dalszej kolejności ilość ciepła ze spalania osadów jest przeznaczana na



podgrzanie powietrza, niezbędnego do reakcji utleniania. Jeżeli wartość opałowa związków organicznych w osadzie nie wystarcza do odparowania zawartej w nim wody, to utylizacja termiczna może być przeprowadzona przy udziale paliwa dodatkowego, takiego jak: węgiel, olej opałowy czy biogaz (Bień i Bień 2015).

**Rysunek 9.9.** Metody termicznej utylizacji osadów



Źródło: opracowanie własne za: Janosz-Rajczyk 2004.

Spalanie osadów ściekowych to proces, który pozwala na całkowite unieszkodliwienie osadów ściekowych. Popiół wytworzony podczas tego procesu to ok 20% suchej masy osadu (s.m.o.). Popiół, w którym nie znajdują się metale ciężkie, można używać np. jako podsypkę do budowy dróg lub innych celów gospodarczych. W przypadku gdy spalane są osady zawierające metale ciężkie, popiół powstały traktowany jest jako odpad niebezpieczny i musi być składowany na odpowiednim składowisku. Do spalania nadają się osady surowe, jak również ustabilizowane, ale ze względu na ciepło spalania bardziej korzystna jest utylizacja osadów surowych (Środa i in. 2013).

Wartość opałowa osadów ściekowych zależy od ich składu chemicznego i udziału substancji palnych. Możliwość ich spalania zachodzi, gdy niespełnione są parametry wymienione w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz.U. poz. 1277):

- ogólny węgiel organiczny (TOC) – 5% suchej masy osadu,
- strata przy prażeniu (LOI) – 8% suchej masy osadu,
- ciepło spalania kalorycznej frakcji resztkowej maksimum – 6 MJ/kg suchej masy.

Wartość opałowa suchego osadu ściekowego porównywana jest z węglem brunatnym. W tabeli 9.1 zestawiono wartość opałową oraz skład osadów ściekowych w porównaniu z innymi paliwami stałymi.

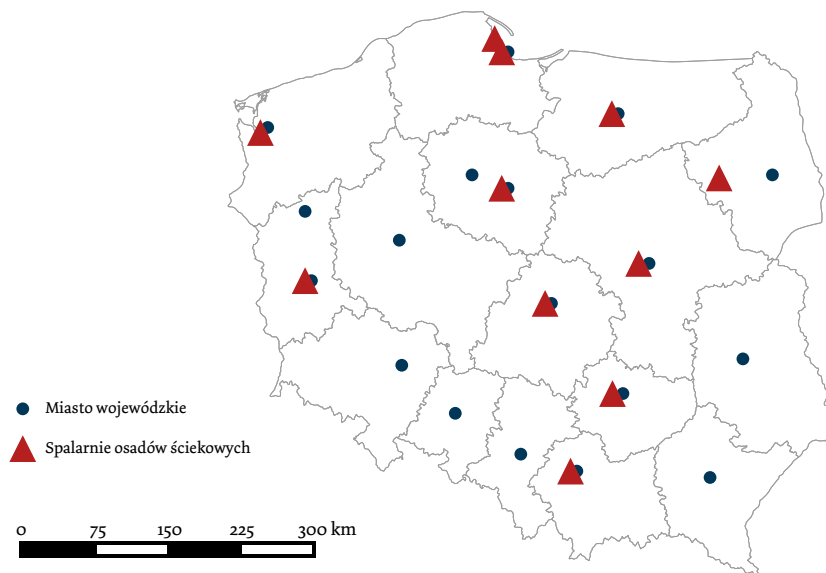
**Tabela 9.1.** Porównanie wartości opałowej oraz składu osadów ściekowych z innymi paliwami stałymi

Parametr	Osad ściekowy	Muł węglowy	Węgiel kamienny	Węgiel brunatny	Drewno
Wartość opałowa (MJ/kg)	18–21,5	8–16	25–50	8–16	13
Popiół (%)	30	30–60	5,3	10–20	0,8
Węgiel (%)	50	31	88	66	50,7
Wodór (%)	6	3,7	6	5	5,9
Siarka (%)	1	1–1,5	0,8	0,7–7	0,04

Źródło: Bożym 2013.

Działające w Polsce instalacje spalające osady ściekowe wykorzystują w większości technologię fluidalną, rzadziej technologię rusztową (Bień i Bień 2015), a ich rozmieszczenie przedstawiono na rysunku 9.10.

**Rysunek 9.10.** Lokalizacja spalarni osadów ściekowych w Polsce



Źródło: opracowanie własne.

Najmniejsza spalarnia zlokalizowana jest w Łomży, w województwie podlaskim (1,5 tys. Mg s.m./rok), natomiast spalarnia o największej wydajności znajduje się w Warszawie (62 tys. Mg s.m./rok). Sumaryczna wydajność wszystkich spalarni w Polsce wynosi 160 tys. Mg s.m./rok. Proces spalania fluidalnego jest najbardziej opłacalny powyżej 100 tys. RLM (równoważna liczba mieszkańców) dla oczyszczalni (Janosz-Rajczyk 2004). Istotą tego procesu jest utrzymanie materiału inertnego w formie zawieszenia w komorze spalania. Dopływowi podgrzanego powietrza, sprzyja powstawaniu optymalnych warunków spalania, poprzez zapewnienie idealnego kontaktu z osadem. Ze względu na przebieg procesu jest to najczęściej stosowane rozwiązanie w przypadku termicznej utylizacji osadów.

Osad spalany w takiej instalacji jest poddany odwodnieniu mechanicznemu oraz podsuszeniu do zawartości ok. 30% do 35% s.m.o. Oprócz osadu podczas rozruchu, ale także i normalnej pracy dozowane jest paliwo dodatkowe (gaz ziemny lub olej opałowy). Powstałe w procesie spalania gazy i popioły zostają odprowadzone przez jego kopułę, a następnie skierowane do wymienników ciepła. Schłodzone do ok. 200°C spaliny zostają poddane oczyszczeniu mechanicznemu i chemicznemu.

Alternatywnym rozwiązaniem dla pieców fluidalnych są piece obrotowe. Obrotowy piec bębnowy składa się z stalowego bębna w kształcie pochylonej rury wyłożonej materiałem ceramicznym. Piec obraca się z niewielką prędkością, dzięki czemu osady mieszają się i przechodzą przez kolejne strefy suszenia odgazowania spalania i schładzania popiołu. Spalanie odbywa się w temperaturze od 800°C do 1000°C. Osady i spaliny mogą przepływać między sobą współprądowo lub przeciw prądowo, jednak w praktyce wykorzystuje się technikę współprądową ze względu na zniwelowanie ryzyka wydmuchów lub wybuchów. Do zalet procesu spalania w piecach obrotowych zaliczyć trzeba dużą stabilność cieplną w stosunku do ilości przetwarzanego osadu. Do wad należy duża liczba części ruchomych, a także niekorzystny bilans energetyczny. Wynika on z dużych strat ciepła powstałych w skutek promieniowania (Janosz-Rajczyk 2004, Środa i in. 2013).

W piecach półkowych osad podawany jest do górnej części paleniska, w którym przebiega proces suszenia. Następnie przesuwany jest on do niższego paleniska i przechodzi proces pirolizy i spalania. Zabudowane zgarniacze zamontowane na wirniku przesuwają osad na coraz niższą półkę. Ogrzane wstępnie powietrze doprowadza się do najniższego paleniska, po czym wznosi się ono na skutek ogrzania. Powietrze to po osuszeniu osadu ulega schłodzeniu. Osad podawany do pieca powinien zawierać 15% s.m.o. Zaleca się zastosowanie paliwa dodatkowego, gdy osad ma od 15% do 30% suchej masy. Zaletą pieców półkowych jest efektywne wykorzystanie energii, natomiast za

wadę uznaje się koszt dodatkowego paliwa, której jest nieodzowne do prowadzenia procesu (Janosz-Rajczyk 2004, Środa i in. 2013).

Ważnym aspektem podczas doboru technologii spalania osadów ściekowych jest dokument referencyjny BAT (*best available technology*), określający najlepszą dostępną technologię pod względem ochrony i kształtowaniu środowiska. W odniesieniu do spalarni osadów ściekowych za najlepszą dostępną technologię można uznać piec z technologią fluidalną.

Najlepszą metodą zagospodarowania osadów ściekowych obecnie pozostaje termiczne przekształcenie (źródło energii), technologia i nakłady inwestycyjne, pozwalające na ograniczenie powstawania ilości osadów ściekowych w gospodarce wodno-ściekowej (Chmielowski 2019) oraz recykulacja substancji biogennych i wykorzystanie w rekultywacji terenów zdegradowanych. Krajowy Plan Gospodarki Odpadami zaleca, by wytwórcy osadów ściekowych w pierwszej kolejności poddali je recyklingowi. Natomiast nienadającą się do wykorzystania materiałowego w obiegu zamkniętym kaloryczną frakcję resztkową, której ciepło spalania wynosi powyżej 6 MJ/kg, należy przekształcać termicznie. Ze względu na to, że proces oczyszczania ścieków stale generuje osady ściekowe, Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) realizuje plan nastawiony na odzyskiwanych zasobów, w myśl gospodarki o obiegu zamkniętym.

Zgodnie z przyjętą strategią postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2019–2022 obowiązujące przepisy prawne z zakresu gospodarki odpadami w wystarczającym stopniu regulują kwestie dotyczące komunalnych osadów ściekowych, jeżeli uzyskają one status odpadów. Odpady te mogą być stosowane do odzysku na powierzchni ziemi lub kierowane do przetwarzania termicznego. Należy podkreślić, że możliwość ich zastosowania w powyższych celach jest uzależniona od spełnienia przez tego rodzaju odpady określonych parametrów fizyko-chemicznych. Kryteria zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych na składowiskach praktycznie wykluczają składowanie tych odpadów. Problem może się pojawić w sytuacji, gdy brak instalacji do spalania komunalnych osadów ściekowych w bliskiej odległości od oczyszczalni. Podobnie utrudnieniem może być niespełnianie przez osady wymagań jakościowych do energetycznego przetwarzania w spalarniach odpadów. W takiej sytuacji rozwiązaniem godnym uwagi może być przekształcenie osadów ściekowych w produkt poprawiający własności gleby (Bedla 2018, Chmielowski 2018). Ocena maksymalizacji stopnia wykorzystania substancji biogennych z komunalnych osadów ściekowych, w wyniku zwiększenia synergii pomiędzy inwestycjami publicznymi i prywatnym, wpisuje się w koncepcję obiegu zamkniętego. Z tego powodu obecne plany i strategie wymagają poznania metod techniczno-biologicznych. Zauważalne przemiany w skali

kraju wiązą się z zagospodarowaniem gruntów poeksploatacyjnych i ze zmianą ukształtowania powierzchni terenów. Kolejnym etapem prac inżynierskich jest więc ustalony plan nasadzenia roślin na obszarze zdegradowanym. Efektem tych prac może być opracowanie metody bioremediacji gruntów poeksploatacyjnych. Przyrodnicze metody zagospodarowania osadów ściekowych to jeden z kierunków, które powinny być traktowane jako efektywne rozwiązania w rekultywacji. Postępowanie z odpadami prowadzi do powstania produktu, zatem odpad staje się surowcem, który jest bezpieczny, efektywny i zrównoważony dla środowiska. Nowe metody oczyszczania ścieków powinny być wspierane badaniami naukowymi z różnych dziedzin oraz przez specjalistów z branży inwestycyjnej. Celem takich działań może być rozwiązanie lokalnych problemów gospodarowania odpadami oraz stworzenie profesjonalnych instalacji regionalnych do przeróbki osadów. Spowoduje to zmniejszenie kosztów ich eksploatacji i liczby sposobów ich unieszkodliwiania. Takie postępowanie jest zgodne z programami politycznymi i oczekiwaniami Unii Europejskiej oraz hierarchią postępowania z odpadami.

## Literatura

- Ackerman F. (2000), *Waste Management and Climate Change*, „Local Environment”, vol. 5(2).
- Bahers J.B., Giacchè G. (2019), *Towards a Metabolic Rift Analysis: The Case of Urban Agriculture and Organic Waste Management in Rennes (France)*, „Geoforum”, nr 98.
- Bahers J.B., Giacchè G. (2019), *Towards a Metabolic Rift Analysis: The Case of Urban Agriculture and Organic Waste Management in Rennes (France)*, „Geoforum”, vol. 98.
- Bedla D. (2018), *Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji gruntów*. Materiały konferencyjne z XII Międzynarodowej Konferencji „Metody zagospodarowania odpadów ściekowych”, 25–27.09.2018 r., Wydawnictwo Abrys, Poznań.
- Bernat K., Kulikowska D., Waszczyłko-Miłkowska B., Głębocka J. (2019), *Kinetyka usuwania związków organicznych oraz azotu i fosforu w reaktorze typu SBR w skali technicznej w warunkach zimowych*, „Ochrona Środowiska”, vol. 41(1).
- Bertanza G., Canato M., Laera G. (2018), *Towards Energy Self-sufficiency and Integral Material Recovery in Waste Water Treatment plants: Assessment of Upgrading Options*, „Journal of Cleaner Production”, vol. 170.
- Bień J.D., Bień B. (2015), *Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi w obliczu zakazu składowania po 1 stycznia 2016*, „Inżynieria Ekologiczna”, nr 45.
- Bożym M. (2013), *Wymagania jakościowe stawiane osadom ściekowym spalany w krajowych cementowniach*, „Chemik”, vol. 67(10).

- Chmielowski K. (2018). *Osady ściekowe wspomagają uprawę roślin*, „Przegląd Komunalny”, nr 11.
- Chmielowski K. (2019), *Termiczne przekształcanie osadów ściekowych*, „Przegląd Komunalny”, nr 4.
- Collivignarelli M.C., Abbà A., Carnevale Miino M., Torretta V. (2019), *What Advanced Treatments Can Be Used to Minimize the Production of Sewage Sludge in WWTPs?* „Applied. Science”, vol. 9(2650).
- Dyrektywa 2010/75/UE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola, z dnia 24 listopada 2010 r.
- Dyrektywa 86/278/EWG Rady z dnia 12 czerwca 1986 r. w sprawie ochrony środowiska, w szczególności gleby, w przypadku wykorzystywania osadów ściekowych w rolnictwie.
- Dyrektywa 91/271/EWG dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych, z dnia 21 maja 1991 r.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylającej niektóre dyrektywy.
- Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów.
- Gherghel A., Teodosiu C., De Gisi S. (2019), *A Review on Wastewater Sludge Valorisation and Its Challenges in the Context of Circular Economy*, „Journal of Cleaner Production”, vol. 228.
- Gianico, A., Bertanza, G., Braguglia, C. M., Canato, M., Laera, G., Heimersson, S., ... & Mininni, G. (2019), *Upgrading a wastewater treatment plant with thermophilic digestion of thermally pre-treated secondary sludge: techno-economic and environmental assessment*, „Journal of Cleaner Production”, 102.
- GUS (2017), *Infrastruktura komunalna*, Warszawa.
- Halecki W., Bedla D., Dacewicz E., Chmielowski K., Klatka S., Koźmińska A., Pawełczyk K., Baran A., *Biochemical Parameters, Metals Pollution Indices and Stress Tolerance of Taraxacum Officinale Established on the Reclaimed Area: A 7-year Study Plot Ameliorated by Sewage Sludge Amendments* (nieopublikowane).
- Halecki W., Gąsiorek M., Gambuś F., Abram R. (2016), *The Potential of Hydrated and Dehydrated Sewage Sludge Discharges from Soil Reclamation Appliances*, „Fresenius Environmental Bulletin”, vol. 25(6).
- Halecki W., Klatka S. (2017), *Translocation of Trace Elements from Sewage Sludge Amendments to Plants in a Reclaimed Area*, „Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology”, vol. 99(2).
- Halecki W., Klatka S. (2018), *Long Term Growth of Crop Plants on Experimental Plots Created Among Slag Heaps*, „Ecotoxicology and Environmental Safety”, vol. 147.
- Halecki W., Klatka S., *Evaluation of Soil Productivity Index After Eight Years of Soil Reclamation with Sewage Sludge Amendments* (nieopublikowane).

- Heidrich Z., Tiunajtis K. (2008), *Ilości osadów pochodzących z wiejskich oczyszczalni ścieków i kierunki ich unieszkodliwiania*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich”, nr 5.
- Helcom (2019), <http://www.helcom.fi/action-areas/industrial-municipal-releases/waste-water/sewage-sludge-handling> (dostęp: 6.09.2019 r.).
- Ignatowicz K., Oksiuta J. (2018), *Usuwanie związków węgla, azotu i fosforu w przydomowej oczyszczalni ścieków ze złożem hydrofitowym*, „Inżynieria Ekologiczna”, vol. 19(4).
- Iskra K., Miodoński S. (2014), *Dezintegracja osadu nadmiernego – dobra praktyka czy konieczność?* „Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska”, nr 4.
- Janosz-Rajczyk M. (2004), *Komunalne osady ściekowe – podział, kierunki zastosowań oraz technologie przetwarzania, odzysku i unieszkodliwiania*, Raport dla Ministra Środowiska, Instytut Inżynierii Środowiska.
- Jastrzębska E. (2019), *Konsument w gospodarce o obiegu zamkniętym*, „Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów/Szkoła Główna Handlowa”, vol. 172.
- Lopez M., Soliva M., Martínez-Farré F.X., Bonmatí A., Huerta-Pujol O. (2000), *An Assessment of the Characteristics of Yard Trimmings and Recirculated Yard Trimmings Used in Biowaste Composting*, „Bioresour. Technol.”, vol. 101.
- Lopez M., Soliva M., Martínez-Farré F.X., Bonmatí A., Huerta-Pujol O. (2010), *An Assessment of the Characteristics of Yard Trimmings and Recirculated Yard Trimmings Used in Biowaste Composting*, „Bioresour. Technol.”, vol. 101.
- Lu J.W., Zhang S., Hai J., Lei M. (2017), *Status and Perspectives of Municipal Solid Waste Incineration in China: A Comparison with Developed Regions*, „Waste Management”, vol. 69.
- Manczarski P. (2007), *Kompostowanie odpadów komunalnych*, Referat na Forum Technologii Ochrony Środowiska, Poleko, Poznań, 21.11. 2007 r.
- McDowall W., Geng Y., Huang B., Barteková E., Bleischwitz R., Türkeli S., Kemp R., Doménech T. (2017), *Circular Economy Policies in China and Europe*, „Journal of Industrial Ecology”, vol. 21(3).
- Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii (2019), *Krajowe Inteligentne Specjalizacje (KIS) 2014–2020* (dostęp: 6.09.2019 r. smart.gov.pl).
- Ministerstwo Środowiska (2018), *Strategia postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2019–2022*, Warszawa.
- Nguyen T.B., Shima K. (2019), *Composting of Sewage Sludge with a Simple Aeration Method and Its Utilization as a Soil Fertilizer*, „Environmental Management”, vol. 63(4).
- Nowaczek A., Pędziwiatr E., Kulczycka J. (2019), *Upowszechnienie koncepcji gospodarki o obiegu zamkniętym przez realizację projektów współpracy*, „Aura”, nr 5.
- Pace M.G., Miller B.E., Farrell-Poe K.L. (1995), *The Composting Process*, Utah State University.
- Pilnáček V., Innemanová P., Šereš M., Michalíková K., Stránská Š., Wimmerová L., Cajthaml T. (2019), *Micropollutant Biodegradation and the Hygienization Potential*

- of Biodrying as a Pretreatment Method Prior to the Application of Sewage Sludge in Agriculture*, „Ecological Engineering”, vol. 127.
- Podedworna J., Umiejewska K. (2008), *Technologia osadów ściekowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Rosik-Dulewska Cz. (2016), *Podstawy Gospodarki Odpadami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1357/2014 z dnia 18 grudnia 2014 r. zastępujące załącznik III do dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE w sprawie odpadów oraz uchylającej niektóre dyrektywy.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach, Dz.U. poz. 1277.
- Rozporządzenie Rady (UE) 2017/997 z dnia 8 czerwca 2017 r. zmieniające załącznik III do dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE w odniesieniu do niebezpiecznej właściwości HP 14 „Ekotoksyczne”.
- Schroeder P., Anggraeni K., Weber U. (2019), *The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals*, „Journal of Industrial Ecology”, vol. 23(1).
- Shaddel S., Bakhtiary-Davijany H., Kabbe C., Dadgar F., Østerhus S.W. (2019), *Sustainable Sewage Sludge Management: From Current Practices to Emerging Nutrient Recovery Technologies*, „Sustainability”, vol. 11(12).
- Sikoń A. (2019), *Wprowadzanie elementów gospodarki obiegu zamkniętego w tarnobrzezkiej oczyszczalni ścieków*, „Technologia Wody”, vol. 2 (64).
- Sikorska A. (2019), *Stabilizacja osadów pochodzących z czyszczenia kanalizacji jako obowiązek nowoczesnej gospodarki obiegu zamkniętego*, „Forum Eksploatatora” vol. 3(102). In Forum Eksploatatora (pp. 66–73).
- Środa K., Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H. (2013), *Metody utylizacji osadów ściekowych*, „Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska”, vol. 15.
- Tisserant A., Pauliuk S., Merciai S., Schmidt J., Fry J., Wood R., Tukker A. (2017), *Solid Waste and the Circular Economy: A Global Analysis of Waste Treatment and Waste Footprints*, „Journal of Industrial Ecology”, vol. 21(3).
- Tomei M.C., Bertanza G., Canato M., Heimersson S., Laera G., Svanström M. (2016), *Techno-economic and Environmental Assessment of Upgrading Alternatives for Sludge Stabilization in Municipal Wastewater Treatment Plants*, „Journal of Cleaner Production”, vol. 112.
- Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami (KPGO) 2022 (2016).
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, Dz.U. z 2013 r., poz. 21, z późn. zm.
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, Dz. U. z 2010 r. nr 185, poz. 1243 ze zm.
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz.U. 2001 nr 62, poz. 627.
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych, Dz.U. 1995 nr 16, poz. 78, z późn. zm.



- Werle, S., Sobek, S. (2019), *Gasification of sewage sludge within a circular economy perspective: a Polish case study*, „Environmental Science and Pollution Research”, vol. 26(35).
- Wilson D., Rodic L., Modak P., Soos R., Carpintero Rogero A., Velis C., Iyer M., Simonett O. (2015), *Global Waste Management Outlook* (Report), UNEP and ISWA.
- World Bank. Solid Waste Management. 2018. Dostęp z dnia 10.05.2019 r. <http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management> (dostęp: 10.05.2019).
- Żygadło M. (1999), *Gospodarka odpadami komunalnymi*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce.

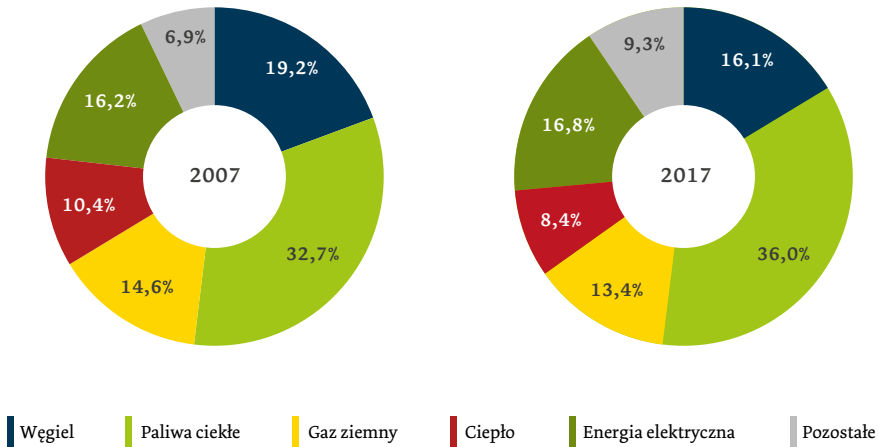
# BIOPALIWA – PALIWA ALTERNATYWNE W TRANSPORCIE I ENERGETYCE

## 10.1. Geneza biopaliw

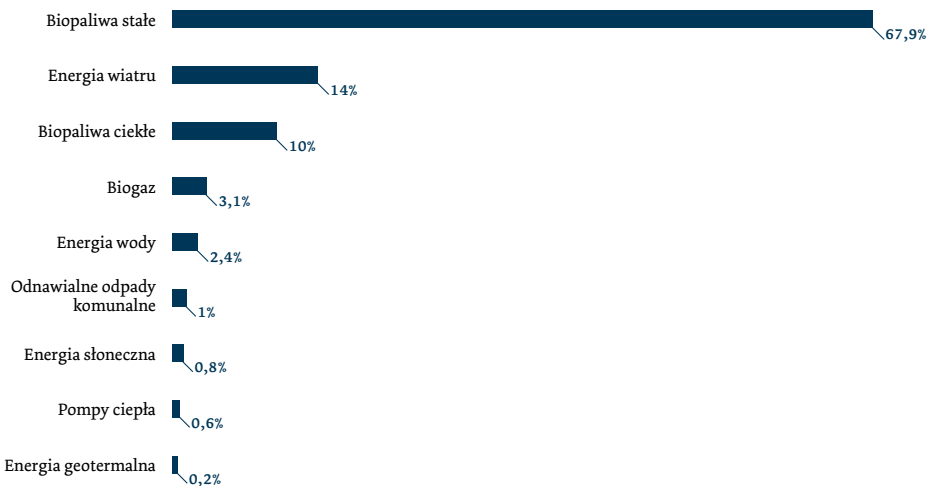
Stały rozwój cywilizacji stymuluje zwiększenie zapotrzebowania na energię. Paliwa kopalne, które obecnie w największym stopniu są wykorzystywane w jednych z najważniejszych sektorów gospodarki światowej, to jest w produkcji energii elektrycznej, wytwarzaniu ciepła czy też jako paliwa we wszystkich gałęziach transportu, mają negatywny wpływ na stan środowiska człowieka. Ich spalanie w blokach energetycznych lub silnikach pojazdów powoduje znaczącą emisję szkodliwych substancji do otaczającej nas atmosfery. Paliwa kopalne są poza tym źródłem, które nie pozostaje niewyczerpalne, a ich zasoby z roku na rok kurczą się. Fakt ten powoduje konieczność podejmowania działań mających na celu dążenie do zrównoważonego rozwoju gospodarczego, oznaczającego świadome kształtowanie relacji między wzrostem gospodarczym a troską o stan środowiska naturalnego. Skutkuje to obowiązkiem racjonalnego oraz efektywnego gospodarowania dostępnymi zasobami naturalnymi.

Jednym ze sposobów ograniczania negatywnego wpływu człowieka na środowisko naturalne, w tym na stan atmosfery, jest rozwój i bardziej intensywne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Na rysunku 10.1 oraz 10.2 zaprezentowano strukturę finalnego zużycia energii wg nośników w Polsce oraz strukturę pozyskania energii ze źródeł odnawialnych według nośników w Polsce.

Struktura zużycia według stosowanych nośników energii jest w znacznym stopniu determinowana przez posiadane zasoby naturalne. Głównym źródłem energii pierwotnej nadal są węgiel kamienny i węgiel brunatny. W przypadku zużycia finalnego paliwa węglowe są trzecim najważniejszym rodzajem używanych nośników, których udział obniżył się z 19% w 2007 r. do 16% w 2017 r.

**Rysunek 10.1.** Struktura finalnego zużycia energii wg nośników w Polsce

Źródło: GUS 2019.

**Rysunek 10.2.** Struktura pozyskania energii ze źródeł odnawialnych według nośników w Polsce

Źródło: GUS 2019.

Sektor transportu, stanowiący jeden z kluczowych elementów rozwoju gospodarki, jest istotnym konsumentem energii oraz znaczącym emitentem zanieczyszczeń. W tym sektorze gałęzią transportu w największym stopniu odpowiedzialną za emisję zanieczyszczeń jest transport drogowy (Pielecha i Markiesz-Guranowska 2014).

Silniki spalinowe zasilane olejem napędowym emitują do atmosfery znaczne ilości szkodliwych dla człowieka substancji. Spaliny silników wysokoprężnych są wieloskładnikowymi mieszaninami związków chemicznych powstających w wyniku procesu spalania oleju napędowego i oleju silnikowego. Produkty spalania są emitowane do atmosfery w postaci gazów i cząstek stałych, które nie uległy spalaniu. Substancje emitowane podczas pracy silników pojazdów, uszeregowane według ich toksyczności, to przede wszystkim:

- cząstki stałe (sadze), a w nich wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne,
- kadm,
- tlenki azotu,
- węglowodory alifatyczne i aromatyczne,
- aldehydy,
- ołów (Jarosz i Marchwiński 1991).

Oprócz emisji substancji mających bezpośredni negatywny wpływ na zdrowie człowieka podczas spalania paliw kopalnych do atmosfery emitowany jest dwutlenek węgla, gaz mający prawdopodobnie znaczący wpływ na ocieplanie się klimatu, obserwowane w ostatnich latach. Według Głównego Urzędu Statystycznego transport drogowy oparty na paliwach ropopochodnych ma istotny wpływ na wzrost emisji gazów cieplarnianych. Emisja gazów, której źródłem był transport, w 2016 r. stanowiła 15,9% całkowitej emisji gazów cieplarnianych emitowanych przez wszystkie gałęzie gospodarki. Transport drogowy wyemitował 51,5 mln ton CO<sub>2</sub>, tj. o 6,6 mln ton więcej niż w 2015 r., przy czym ponad połowa tych zanieczyszczeń była wynikiem używania samochodów osobowych. Oprócz wzrostu emisji dwutlenku węgla obserwuje się również wzrost poziomu innych zanieczyszczeń powietrza, m.in.: tlenku węgla, tlenków azotu i cząstek stałych (<https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-lacznosc/transport/transport-drogowy-w-polsce-w-latach-2016-i-2017,6,5.html>, dostęp: 2.07.2019).

W związku z tym, że wzrost zapotrzebowania na paliwa w transporcie odnotowywany jest także w innych krajach Unii Europejskiej, konieczne staje się realizowanie polityki energetyczno-klimatycznej dążącej do zrównoważonego rozwoju transportu oraz ograniczenia jego negatywnego wpływu na środowisko naturalne. W tym zakresie znaczący instrument stanowi integracja polityki transportowej z ekologiczną (Kowalski 2019), czego wyrazem jest m.in. propagowanie wykorzystania biopaliw w różnych gałęziach transportu.

Oprócz transportu sektorem, który w znacznym stopniu przyczynia się do emisji zanieczyszczeń do atmosfery, jest sektor energetyczny. Elektrownie i elektrociepłownie w Polsce produkują prąd i ciepło, opierając się głównie na technologiach wykorzystujących węgiel jako podstawowe paliwo. Przykładem

mogą być zakłady zaopatrujące w energię mieszkańców Warszawy – Elektrociepłownie Żerań i Siekierki, które powstały, podobnie jak większość tego typu zakładów w Polsce, w połowie ubiegłego wieku. Obecnie Siekierki (moc cieplna: 2068 MWt) ogrzewają ok. 55% budynków w stolicy, Żerań (1580 MWt) jest drugim co do wielkości dostawcą ciepła dla mieszkańców Warszawy. Ilość zużywanego przez oba zakłady paliwa jest znacząca w krajowym bilansie energetycznym. Siekierki zużywają ponad 10 tys. ton węgla na dobę, jeśli temperatura na zewnątrz wynosi  $-10^{\circ}\text{C}$  lub mniej. Niewiele mniejsze zużycie przypada na Żerań dla takich samych warunków atmosferycznych, oznacza to zapotrzebowanie na ok. 6 tys. ton paliwa na dobę. Równie istotna jest ilość ubocznych produktów spalania wytwarzanych w czasie procesu technologicznego. W przypadku Siekierki rocznie to ok. 350 tys. ton popiołów i żużlu. Żerań produkuje nieco poniżej 250 tys. ton ([https://suntrack.pl/module/ph\\_simpleblog/single?rewrite=elektrociepłowniewarszawa&sb\\_category=ekologia](https://suntrack.pl/module/ph_simpleblog/single?rewrite=elektrociepłowniewarszawa&sb_category=ekologia), dostęp: 20.06.2019).

Na skutek procesu spalania obie elektrociepłownie dostarczają do środowiska znaczne ilości szkodliwych substancji. Do powietrza dostają się: dwutlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ), dwutlenek azotu ( $\text{NO}_2$ ), benzo-a-piren, pyły zawieszone  $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{2,5}$ , sadza oraz związki rtęci.

Według danych Agencji Rynku Energii (raport środowiskowy 2015) wskaźnik emisji zanieczyszczeń w ostatnich latach w odniesieniu do sumy produkcji energii elektrycznej i ciepła brutto wynosił dla każdej z omawianych elektrociepłowni ([https://suntrack.pl/module/ph\\_simpleblog/single?rewrite=elektrociepłowniewarszawa&sb\\_category=ekologia](https://suntrack.pl/module/ph_simpleblog/single?rewrite=elektrociepłowniewarszawa&sb_category=ekologia), dostęp: 20.06.2019):

- Siekierki:  $\text{SO}_2$ : 0,7 kg/MWh,  $\text{NO}_2$ : 0,4 kg/MWh, pył: 0,03 kg/MWh,
- Żerań:  $\text{SO}_2$ : 1,35 kg/MWh,  $\text{NO}_2$ : 0,5 kg/MWh, pył: 0,08 kg/MWh.

Także w sektorze energetycznym jednym ze sposobów ograniczania szkodliwego wpływu zakładów ciepłowniczych na środowisko jest, tak jak w przypadku transportu, stosowanie paliw niebędących paliwami kopalnymi – biopaliw. Przyjmuje się, że biopaliwa są to paliwa wytwarzane z surowców roślinnych lub zwierzęcych będących surowcami odnawialnymi. Biopaliwa dzielą się na trzy podstawowe grupy paliw:

- stałe, np. drewno przetworzone – pelety, wierzba energetyczna, biomasa,
- płynne – oleje roślinne i ich pochodne, metanol, etanol itd.,
- gazowe – biogaz z biogazowni, gaz wysypiskowy, gaz drzewny.

## 10.2. Biopaliwa stałe

Podstawowym rodzajem paliwa stałego jest biomasa rozumiana jako substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, w tym również odpady przemysłu spożywczego czy oczyszczalni ścieków. Źródłem biomasy mogą być zakłady przemysłu drzewnego wytwarzające znaczne ilości odpadów podczas procesów produkcyjnych. Biomasa niekoniecznie musi być pozyskiwana jako odpad podstawowej produkcji, może być także otrzymywana w formie upraw roślin energetycznych, których podstawowym zadaniem jest wytwarzanie energii. Najczęściej dostępne rodzaje biomasy w formie stałej na polskim rynku to:

- **trociny** – które są produktem ubocznym przetwarzania mechanicznego (cięcia, skrawania) drewna w tartakach. Drewno w kawałkach nie jest traktowane jako biomasa, ale trociny już tak. Z uwagi na ograniczone możliwości ich dalszego przetwarzania stanowią cenny surowiec energetyczny. Trociny mokre mają wartości energetyczną ok. 5 MJ/kg, zaś suche – ok. 19,3 MJ/kg. Wartość energetyczna uzależniona jest nie tylko od wilgotności, ale także od gatunku drzewa, z którego powstały trociny. Im drewno jest twardsze, tym większa jest jego wartość opałowa;
- **zrębki drzewne** – to inny produkt przetwarzania drewna, powstaje podczas rozgniatacia drewna tępymi narzędziami, takimi jak walce lub młoty. Zrębki drzewne są grubsze od trocin. Przeważnie ich długość waha się w granicach 5–50 mm. Mokre mają wartości energetyczną ok. 10 MJ/kg, zaś suche ok. 16,5 MJ/kg;
- **brykiet drzewny** – są to trociny lub zrębki przetworzone i uformowane w kształt kostki lub walca. Brykiet nie zawiera dodatkowych substancji klejących (czysta biomasa). Proces produkcji polega na zgniataciu odpadów drzewnych, podczas którego powstaje lignina spajająca formowaną masę. Niekiedy podczas procesu produkcji brykietu stosuje się dodatkowe spoiwa w postaci ługu posulfitowego, skrobi rozpuszczalnych, szkła wodnego sodowego lub bentonitu. Proces produkcji brykietu dzieli się na etapy, z których najważniejsze to:
  - rozdrabnianie surowca,
  - oczyszczanie masy z niepożądanych dodatków,
  - suszenie gorącym powietrzem,
  - formowanie i prasowanie masy,produkcja brykietu jest tańsza od produkcji peletu;
- **pelet** – ma postać granulatu wytwarzanego najczęściej z odpadów drzewnych o średnicy 6–25 mm. Biomase poddaje się suszeniu, mieleniu i prasowaniu. Odpady drewna (trociny lub wióry) są spajane w prasie rotacyjnej. Podczas całego procesu nie stosuje się dodatków substancji klejących. Dzięki temu,

że w małej objętości można zmieścić znaczną ilość masy o dużej gęstości, zarówno brykiety, jak i pelet, mają wartość kaloryczną większą od drewna i dochodzącą do 20 MJ/kg;

- **słoma** – to łodygi, plewy, strączyny pozostałe po oddzieleniu od zebranych roślin ziaren lub nasion. Słoma pochodzi z roślin niezdrewniałych. Wilgotność słomy używanej do celów opałowych musi być niższa niż 18%, aby można ją było efektywnie wykorzystać do wytwarzania energii. Słoma spalana jest w postaci kostek, balotów, sieczki oraz rzadziej w postaci brykietów lub peletów;
- **siano**, czyli skoszone w początkowym okresie wegetacji i wysuszone rośliny zielone (trawy, rośliny motylkowate itp.). Siano z pierwszych pokosów wykorzystuje się najczęściej jako paszę charakteryzującą się dużą zawartością białka. Siano późno skoszone ma dużą zawartość łodyg zdrewniałych. Często zagospodarowuje się je jako biomasę do celów energetycznych;
- **rośliny z upraw energetycznych** – nie są to odpady, ale rośliny hodowane specjalnie w celu wytwarzania z nich energii. Uprawa roślin energetycznych pozwala często na wykorzystanie nieużytków. Aby roślina mogła być surowcem energetycznym, musi spełniać następujące kryteria: mieć znaczne przyrosty roczne, dużą wartość opałową, znaczną odporność na choroby lub szkodniki oraz stosunkowo niewielkie wymagania glebowe.

Rośliny energetyczne ze względu na okres wzrostu i dojrzewania można podzielić na:

- rośliny uprawne roczne: zboża, konopie, kukurydza, rzepak, słonecznik, sorgo sudańskie, trzcina,
- wieloletnie byliny dwuliścienne (np. topinambur, ślazier pensylwański, rdesty, róża),
- rośliny drzewiaste szybkiej rotacji: topola, wierzba, osika, eukaliptus, szybko rosnące, rokrocznie plonujące trawy wieloletnie: miskanty, trzcina, mozga trzcinowata, trzcina laskowa.

Jedną z najpopularniejszych roślin uprawianych do celów energetycznych jest wierzba wiciowa. Na plantacjach tych roślin sadi się sadzonki o długości ok. 25 cm i średnicy powyżej 7 mm. Najkorzystniejszy jest zbiór masy drzewnej co 3 lata, wykonywany najczęściej od połowy listopada do końca marca, czyli w sezonie martwym dla rolnictwa. Z 1 hektara można uzyskać rocznie ok. 10–15 ton suchej masy. Plantację użytkuje się najczęściej do 25 lat.

Biomasa może także występować jako:

1) odzwierzęca:

- obornik i gnojowica,
- tłuszcze i mączka kostna;

## 2) odpady organiczne:

- pochodzące z wytwarzania żywności i napojów oraz odpady konsumenckie,
- przemysłowe, pochodzące z procesów produkcyjnych,
- osady ściekowe, odpady komunalne, ścieki itd.

Biomasa w formie odpadów organicznych i odzwierzęcych najczęściej nie jest bezpośrednio wykorzystywana jako paliwo, ale zostaje poddawana dalszej obróbce w celu uzyskania innej formy biopaliwa – biogazu.

Produkcja energii z odnawialnych źródeł regulowana jest przez krajowe i unijne przepisy prawa. Podstawowe wytyczne w tym zakresie zawarte są w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promocji stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającej, a co za tym idzie – uchylającej dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dyrektywa ta definiuje biomasę jako: „ulegającą biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich” (Dyrektywa... 2009/28/WE).

Krajowe przepisy prawne regulują ten obszar za pomocą ustaw, rozporządzeń oraz informacji Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki. Ustawa o odnawialnych źródłach energii (OZE) z dnia 20 lutego 2015 r. zawiera również definicję biomasy. Jej najnowsze brzmienie definiuje ją jako: „Ulegająca biodegradacji część produktów, odpadów lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa, w tym substancje roślinne i zwierzęce, leśnictwa i związanych działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, przetworzoną biomasę, w szczególności w postaci brykietu, peletu, toryfikatu i biowęgla, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych lub komunalnych pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, w tym odpadów z instalacji do przetwarzania odpadów oraz odpadów z uzdatniania wody i oczyszczania ścieków, w szczególności osadów ściekowych, zgodnie z przepisami o odpadach w zakresie kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów” (Ustawa... Dz.U. 2018, poz. 1276).

Zgodnie z zapisami zawartymi w ustawie o OZE świadectwo pochodzenia, a w związku z tym dodatkowe wsparcie nie przysługuje tej części energii elektrycznej, do wytworzenia której m.in.: wykorzystano drewno inne niż drewno energetyczne oraz zboża pełnowartościowe; wykorzystano paliwa kopalne lub paliwa powstałe z ich przetworzenia; wykorzystano biomasę zanieczyszczoną w celu zwiększenia jej wartości opałowej; nie dochowano minimalnego udziału biomasy lokalnej w łącznej masie biomasy (Ustawa... Dz.U. 2015, poz. 478, z późn. zm.). Biomasę lokalną określono jako: „biomasę pochodzącą z upraw



energetycznych, a także odpady lub pozostałości z produkcji rolnej oraz przemysłu przetwarzającego jej produkty, zboża inne niż pełnowartościowe, pozyskane w sposób zrównoważony w promieniu nie większym niż 300 km od jednostki wytwórczej” (Ustawa... Dz.U. 2015, poz. 478, z późn. zm.).

W ostatniej nowelizacji ustawy o OZE pojęcie biomasy lokalnej zostało zastąpione określeniem „biomasa pochodzenia rolniczego”, która stanowi: „biomasę pochodzącą z upraw energetycznych, a także odpady lub pozostałości z produkcji rolnej oraz przemysłu przetwarzającego jej produkty” (Ustawa... Dz.U. 2018, poz. 1276). W nowych uregulowaniach wprowadzono wymóg dochowania minimalnego udziału biomasy pochodzenia rolniczego w łącznej masie biomasy zużytej na cele energetyczne, który wynosi odpowiednio: 85% – dla instalacji spalania wielopaliwowego oraz specjalnych instalacji spalania wielopaliwowego o mocy zainstalowanej elektrycznej wyższej niż 5 MW; 10% – dla specjalnych instalacji spalania biomasy oraz układów hybrydowych o mocy zainstalowanej elektrycznej wyższej niż 20 MW. Ustawa daje jednocześnie możliwość zmiany tego udziału przez ministra właściwego do spraw energii w drodze rozporządzenia.

Przepisy, które weszły w życie w dniu 14 lipca 2018 r., dotyczące Ustawy z dnia 7 czerwca 2018 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. z 2018 r., poz. 1276), wprowadziły także m.in. nowe formy wsparcia wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, tzw. system taryf gwarantowanych zakupu energii elektrycznej wytwarzanej z instalacji na paliwa odnawialne. Są to taryfy w systemie FIT (*feed-in-tariff*) oraz system dopłat do ceny rynkowej FIP (*feed-in premium*).

Na podstawie art. 70a ustawy z systemu wsparcia FIT mogą korzystać wytwórcy energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w małych instalacji lub w mikroinstalacji, którzy sprzedają lub będą sprzedawać niewykorzystaną energię elektryczną do sprzedawcy zobowiązanego. System FIP natomiast przeznaczony jest dla wytwórców energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w instalacji OZE, o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 1 MW, którzy sprzedają lub będą sprzedawać niewykorzystaną energię elektryczną do wybranego podmiotu innego niż sprzedawca zobowiązany.

Stała cena zakupu w systemach FIT/FIP, zgodnie z art. 70e ust. 1 ustawy OZE, wynosi 90% ceny referencyjnej określonej na dany rok kalendarzowy w drodze rozporządzenia przez ministra właściwego do spraw energii (por. art. 77 ust. 3 pkt 1 ustawy OZE), obowiązującej na dzień złożenia deklaracji FIT/FIP, odpowiednio dla instalacji wykorzystującej dany rodzaj odnawialnego źródła energii. Na rok 2018 ceny referencyjne zostały natomiast określone w art. 8 ustawy zmieniającej. Stała cena zakupu podlega corocznej waloryzacji średniorocznym wskaźnikiem cen towarów i usług konsumpcyjnych ogółem z poprzedniego

roku kalendarzowego, określonym w komunikacie Prezesa GUS ogłoszonym w Dzienniku Urzędowym Rzeczypospolitej Polskiej „Monitor Polski” (<https://www.ure.gov.pl/pl/urząd/informacje-ogolne/aktualnosci/7636,Systemy-FIT-i-FIP-nowe-formy-wsparcia-wytwarzania-energii-elektrycznej-z-odnawia.html>, dostęp: 15.09.2019).

Stałą cenę zakupu energii elektrycznej pomniejsza pomoc inwestycyjna przeznaczona na realizację inwestycji w zakresie danej instalacji odnawialnego źródła energii, co skutkuje koniecznością dokonania przez wytwórcę obliczenia odnośnie do ceny skorygowanej, na zasadach określonych w art. 39a ustawy OZE.

Zgodnie z brzmieniem art. 70a ust. 1 i 2 ustawy OZE, systemy FIT/FIP przeznaczone są dla instalacji odnawialnego źródła energii wykorzystujących do wytwarzania energii elektrycznej wyłącznie:

- 1) biogaz rolniczy,
- 2) biogaz pozyskany ze składowisk odpadów,
- 3) biogaz pozyskany z oczyszczalni ścieków,
- 4) biogaz inny niż określony w pkt 1–3,
- 5) hydroenergia.

Jasny system wsparcia dla producentów wytwarzających energię z biomasy jest na tyle istotny, że pozwoli na bardziej precyzyjne analizowanie opłacalności inwestycji w instalację wykorzystującą OZE. Niezwykle istotne na etapie analiz jest w miarę precyzyjne określenie wysokości przychodów, jakie przyniesie przysła inwestycja. Stabilność i pewność uzyskania przychodów na zakładanym poziomie pozwoli wielu inwestorom na podejmowanie decyzji budowy małych instalacji energetycznych wytwarzających czystą energię.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że obowiązek prawny w zakresie spalania biomasy pochodzenia rolniczego stanowi znaczne wyzwanie technologiczne dla polskich wytwórców energii elektrycznej. Wobec konieczności uzupełniania strumienia biomasy pochodzenia rolniczego słomą (z braku biomasy drzewnej z upraw energetycznych oraz sadów) zwiększyło się ryzyko pojawienia się negatywnego wpływu zmodyfikowanego paliwa poprzez korozję w instalacjach spalających biomasę. Zagrożenie to wynika z faktu, że w popiele z biomasy typu leśnego pojawia się większa ilość potasu, który w połączeniu z chlorem występującym w słomie stwarza zagrożenie korozją chlorkową. Badania naukowe wskazują na fakt, że na skutek spalania w kotłach odpadów zawierających chlor i alkalia zagrożenie korozją występuje już w temperaturze 250°C (Hardy i in. 2009).

Krajowe regulacje prawne zawierają również dodatkowe wytyczne dla biomasy drzewnej. W ustawach o OZE wprowadzono definicję drewna pełnowartościowego oraz drewna energetycznego (Ustawa... Dz.U. 2018, poz. 1276).

Zapisy te określają rodzaje drewna dopuszczonego do spalania na cele OZE, co ma chronić branżę drzewną przed koniecznością konkurencji o surowiec z branżą energetyczną. Dzięki tym zapisom jedynie surowiec nieprzydatny lub niepełnowartościowy dla branży drzewnej może być wykorzystany na cele energetyczne.

Definicja drewna pełnowartościowego wprowadzona została Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r. (Dz.U. 2012, poz. 1229, z późn. zm.) i definiuje je jako: „drewno spełniające wymagania jakościowe określone w normach określających wymagania i badania dla drewna wielkowieńmiarowego liściastego, drewna wielkowieńmiarowego iglastego oraz drewna średniewieńmiarowego dla grup oznaczonych jako S1, S2 i S3 oraz materiał drzewny powstały w wyniku procesu celowego rozdrobnienia tego drewna”. Według zapisów rozporządzenia sortymentami drzewnymi, które mogą być przeznaczone na cele energetyczne są odpowiednio: drewno opałowe (S4), drobnica (M1, M2) i karpina, które mogą być dostarczane do energetyki w formie zrębków lub białotów. „Drewnem energetycznym”, według ostatniej nowelizacji ustawy o OZE, określa się natomiast: „surowiec drzewny, który ze względu na cechy jakościowe-wieńmiarowe posiada obniżoną wartość techniczną i użytkową uniemożliwiającą jego przemysłowe wykorzystanie, a także surowiec drzewny stanowiący biomasę pochodzenia rolniczego” (Ustawa... Dz.U. 2018, poz. 1276).

Z uwagi na brak rozporządzenia w zakresie szczegółowych cech jakościowe-wieńmiarowych i fizykochemicznych drewna energetycznego, od dnia 1.07.2018 r. przywrócono wymóg dokumentowania pochodzenia biomasy drzewnej według kryterium drewna pełnowartościowego (Informacja Prezesa URE nr 75/2017...). Nowelizacja ustawy o OZE z 2018 r. rozszerzyła także definicję biomasy o nowe grupy uszlachetnionej biomasy, takie jak: „biowęgiel oraz toryfikat które zostały określone jako wysokoenergetyczne paliwa stałe o wartości opałowej nie mniejszej niż 21 GJ/t wytworzone w procesie termicznego przetwarzania stałych substancji pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, ulegających biodegradacji i pochodzących z: produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej i leśnej oraz przemysłu przetwarzającego ich produkty, części odpadów innych niż wymienione w lit. a, które ulegają biodegradacji, z wyłączeniem odpadów z instalacji do przetwarzania odpadów oraz odpadów z uzdatniania wody i oczyszczania ścieków w rozumieniu przepisów o odpadach” (Ustawa... Dz.U. 2018, poz. 1276). Grupy te różnicuje temperatura przebiegu procesu: dla biowęgla wynosi ona 320–700°C, natomiast dla toryfikatu 200–320°C.

Polskie regulacje prawne definiują także wymagania jakościowe co do biomasy wykorzystywanej do celów wytwarzania energii. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych

z instalacji (Dz.U. 2011 nr 95, poz. 558, z późn. zm.) zawiera wymóg pozwalający zakwalifikować do biomasy na cele energetyczne także m.in. korek i drewno, ale z: „pominięciem odpadów drewna, które mogą zawierać związki fluorowcoorganiczne lub metale ciężkie, wynikające z obróbki środkami do konserwacji drewna lub powlekania, w skład których wchodzi w szczególności odpady drewna pochodzące z budownictwa i odpady z rozbiórki”. Biomasa na cele energetyczne nie może być również zanieczyszczona frakcjami torfowymi i uwęglonymi skamieniałościami materiałów pochodzenia biomasowego (Rozporządzenie Ministra Środowiska... Dz.U. 2008.183.1142, z późn. zm.). Wobec powyższych przepisów użycie biomasy na cele energetyczne wymaga jej dokładnej oceny pod kątem zanieczyszczenia substancjami chemicznymi i innymi substancjami niebędącymi biomasą.

### Przykłady wykorzystania biomasy w energetyce

Biomasa w postaci stałej może być używana jako paliwo zarówno do małych kotłów niewielkich instalacji grzewczych, jak i dużych instalacji elektroenergetyki zawodowej. Przykładem wykorzystania biomasy w zastosowaniach przemysłowych jest uruchomienie bloku energetycznego w elektrociepłowni elbląskiej będącej własnością spółki Energa Kogeneracja (rys. 10.3).

**Rysunek 10.3.** Blok energetyczny na biomasę spółki Energa Kogeneracja w Elblągu



Źródło: <https://magazynbiomasa.pl/energa-uruchomila-kociol-bloku-biomasowego-pooptymalizacji> (dostęp: 12.05.2019).

Nowy blok biomasowy zaopatruje Elbląg w ciepło oraz energię elektryczną od początku sezonu grzewczego 2018/2019. Instalacja powstała, by zastąpić część wyeksploatowanej infrastruktury produkcyjnej wytwórcy ciepła. Ciepło, które dostarczane jest mieszkańcom Elbląga, powstaje w skojarzeniu z energią

elektryczną, czyli w bardziej efektywny sposób niż oddzielne wytwarzanie energii. Roczne zapotrzebowanie na biomasę szacuje się na ok. 135 tys. ton. Budowa nowego bloku pozwoliła spółce zwiększyć moce wytwórcze ciepła o 12% i energii elektrycznej o 50% ([http://www.energa-kogeneracja.pl/s28-blok\\_biomasowy\\_elblag\\_](http://www.energa-kogeneracja.pl/s28-blok_biomasowy_elblag_), dostęp: 10.05.2019).

Projekt budowy bloku biomasowego w Elblągu został częściowo sfinansowany przez Unię Europejską ze środków Funduszu Spójności. Zgodnie z podpisaną pomiędzy Spółką Energa Kogeneracja a Ministerstwem Gospodarki umową koszt realizacji inwestycji w wysokości ponad 200 mln zł uzyskał częściowe dofinansowanie w wysokości 40 mln zł.

Znaczącym efektem ekologicznym funkcjonowania instalacji na biomasę jest ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>. Przyjmuje się, że wykorzystanie biomasy daje zerowy bilans emisji dwutlenku węgla. Podczas spalania tego paliwa ilość CO<sub>2</sub> wydzielanego do atmosfery jest taka, jaką rośliny pobierają w czasie wegetacji. Szacuje się, że nowy blok biomasowy zmniejszy o ponad 150 tys. ton rocznie bilans emisji tego gazu.

Elbląski blok energetyczny ma następujące parametry eksploatacyjne (<http://inwestycjeenergetyczne.itc.pw.edu.pl/inwestycja/blok-biomasowy-w-elektrocieplowni-w-elblagu/>, dostęp: 10.05.2019).

**Nominalna moc bloku przy pracy w kondensacji:** 25 MWe

**Wymiennik ciepłowniczy o mocy:** 30 MWt

**Sprawność produkcji energii elektrycznej brutto:** ponad 34%

**Wydajność kotła parowego z rusztem:** 90 ton pary/h

**Roczna produkcja energii elektrycznej:** ok. 165 tys. MWh oraz 796 tys. GJ ciepła

Elbląska instalacja pracuje jako instalacja do wytwarzania energii w układzie skojarzonym inaczej kogeneracyjnym. Kogeneracja jest to jednoczesne wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej w jednym urządzeniu (<https://www.ces.com.pl/produkty/systemy-kogeneracyjne/kogeneracja-na-gaz-ziemny-i-biogaz.html>). Podstawową zaletą skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła (*combined heat and power* – CHP) jest dużo wyższa sprawność takiego procesu w porównaniu z oddzielnym wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła. Sprawność ogólna procesu skojarzonego przekracza najczęściej 85%, zaś procesów rozdzielonych jest często niższa niż 60%. Uzyskanie tak wysokiej sprawności w procesie kogeneracji jest możliwe dzięki zastosowaniu odzysku ciepła, powstającego podczas produkcji energii elektrycznej.

Innym przykładem przemysłowej instalacji spalającej wyłącznie biomasę jest uruchomiony pod koniec 2015 r. kocioł K-1 we wspomnianej wcześniej

Elektrociepłowni Siekierki. Właścicielem tego zakładu jest spółka PGNiG Termika. Zmiana kotła opalanego węglem na kocioł opalany biomasą przyniesie według właściciela instalacji zmniejszenie rocznej emisji CO<sub>2</sub> z tego zakładu o 225 tys. ton. Oprócz tego zmiana technologii pozyskiwania energii oznacza 97-procentowy spadek emisji tlenków siarki i o 64% związków azotu oraz o 86% pyłów. Wobec problemów aglomeracji warszawskiej z zanieczyszczeniem powietrza pozytywnym efektem jest eksploatacja instalacji ze współczynnikiem emisji pyłu na poziomie średnio 6 mg/Nm<sup>3</sup> (wartości średnioroczne) wobec dopuszczalnego limitu 20 mg. Niewielka zawartość popiołu w paliwie biomasowym pozwoliła przy tym zmniejszyć o 10 tys. t/a produkcję odpadów stałych.

**Rysunek 10.4.** Blok energetyczny K-1 Elektrociepłowni Siekierki w Warszawie



Źródło: <http://biznesalert.pl/pgnig-termika-uruchamia-kocioł-na-biomase> (dostęp: 15.05.2019).

Nowa instalacja Elektrociepłowni Siekierki (rys. 10.4) powstała w wyniku realizacji umowy podpisanej 11.10.2013 r. przez PGNiG Termika SA z Konsorcjum firm: Andritz AG i Porr Polska Infrastructure SA. Inwestycja obejmowała przebudowę pyłowego kotła węglowego OP-230 na kocioł fluidalny BFB 185. Umowa z wykonawcą przewidywała także budowę kompletnej instalacji magazynowej dla biomasy wraz z węzłem wjazdowym dla samochodów ciężarowych dostawców paliwa.

Pierwsze lata eksploatacji kotła BFB 185 pokazały, że utrzymuje on założone parametry eksploatacyjne:

- wydajność  $\geq 185$  t/h pary,
- sprawność  $\geq 90\%$ ,
- emisja SO<sub>2</sub>  $< 200$  mg/m<sup>3</sup>,

- emisja  $\text{NO}_x < 200 \text{ mg/m}^3$ ,
- pył  $< 20 \text{ mg/m}^3$ ,
- emisja  $\text{NH}_3 < 20 \text{ mg/m}^3$ .

Projekt budowy kotła BFB 185 był dofinansowany ze środków Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2009–2014. Umowa na dofinansowanie pomiędzy NFOŚ a PGNiG Termika została podpisana w 2014 r.

Według PGNiG Termika eksploatacja instalacji z wykorzystaniem biomasy wraz ze zmodernizowanym miejskim zakładem termicznej utylizacji odpadów komunalnych na Targówku w okresie letnim zapewniać będzie praktycznie 100% dostawy ekologicznego ciepła (cieplej wody użytkowej) ze źródeł odnawialnych dla mieszkańców Warszawy.

### 10.3. Biopaliwa płynne

Unijne wymagania zawarte w dyrektywach, dotyczące m.in. udziału biopaliw w transporcie oraz promocji odnawialnych źródeł energii, zaczęto implementować do polskiego prawodawstwa w 2006 r., wprowadzając Ustawę z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz.U.2006.169.1199) oraz Ustawę z dnia 25 sierpnia 2006 r. o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw (Dz.U.2006.169.1200), a następnie kolejne akty prawne, nowelizując wprowadzone ustawy. Stan prawny obowiązujący w 2018 r. to ujednolicony tekst Ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz.U.2015.775, Dz.U.2016.266, Dz.U.2016.1165) uwzględniający zmiany wprowadzone w 2015 r. oraz 2016 r. oraz ujednolicony tekst Ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw (Dz.U.2014.1728, Dz.U.2015.1361, Dz.U.2016.266, 542, 1165) uwzględniający zmiany dokonywane w tej ustawie w latach 2014, 2015 i 2016.

Największym wyzwaniem dla polskiego rynku biopaliw transportowych jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 9 września 2015 r. zmieniająca dyrektywę 98/70/WE dotyczącą jakości benzyny i olejów napędowych oraz dyrektywę 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych – 2015/1513/WE. Podstawę zmian dokonanych w tej dyrektywie wskazuje zawarta w jej preambule teza, że w sytuacji gdy obszary wykorzystywane wcześniej na potrzeby rynków żywnościowych oraz paszowych zostają przeznaczane pod produkcję biopaliw, zapotrzebowanie na produkty z pierwszej grupy musi być zaspokajane przez intensyfikację bieżącej produkcji bądź przeznaczanie pod produkcję gruntów niestanowiących użytków rolnych. Oznacza to konieczność kompensaty negatywnego wpływu rozwoju rynku biopaliw na

rynek produkcji żywności. Ostatni przypadek, co podkreślono w tym dokumencie, stanowi tzw. ILUC (*indirect land use change*), oznaczający pośrednią zmianę sposobu użytkowania gruntów, i jeżeli wiąże się to z przekształceniem terenów o dużych zasobach węgla, prowadzić może do znacznych emisji gazów cieplarnianych. Konieczność znalezienia rozwiązań umożliwiających zmniejszenie negatywnych skutków ILUC stanowi podstawę wprowadzania nowych regulacji dotyczących rynku biopaliw.

Jedną z najistotniejszych zmian, które wprowadza nowa dyrektywa, jest wskazanie, że w celu obliczania udziału energii powstającej przy wykorzystaniu źródeł odnawialnych we wszystkich rodzajach transportu. Wyznaczony cel (to minimum 10% w 2020 r.) maksymalna ilość biopaliw pierwszej generacji nie może przekraczać 7%. Biopaliwa pierwszej generacji to biopaliwa powstające przy udziale surowców spożywczych, a ograniczenie ich udziału pozwoli zmniejszyć skutki ILUC oraz przygotować proces przejścia na biopaliwa zaawansowane kolejnych generacji, które nie będą stanowiły konkurencji dla upraw roślin spożywczych.

Dodatkowo, co także zostało zawarte w preambule tego dokumentu, konieczne jest wspieranie przez państwa członkowskie UE badań oraz rozwoju nowych, zaawansowanych biopaliw, m.in. takich jak biopaliwa wytwarzane z odpadów lub alg. Promocji biopaliw kolejnych generacji ma także służyć zasada podwójnego zaliczania, uznająca za dwukrotnie wyższy, na potrzeby realizacji unijnych celów, udział biopaliw powstających przy udziale wykazanych w dyrektywie surowców (m.in. słomy, frakcji biomasy, zmieszanych odpadów komunalnych oraz bioodpadów). W ramach wspierania nowoczesnych biopaliw poszczególni członkowie UE powinni byli do 6 kwietnia 2017 r. ustalić krajowe cele w zakresie ich wykorzystania. Skuteczność wprowadzanych środków (zwłaszcza w zakresie ILUC), a także funkcjonowanie rynku biopaliw transportowych są poddawane analizom, co może pociągać za sobą konieczność nałożenia nowych obowiązków sprawozdawczych. Transpozycja postanowień najnowszej dyrektywy do krajowych porządków prawnych państw członkowskich powinna zostać ukończona najpóźniej do 10 września 2017 r. W związku z tym w Polsce powstał już Projekt ustawy o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw, uwzględniający najnowsze wymagania UE. Pierwotnie termin przyjęcia projektu planowany był na 1 stycznia 2017 r., jednak termin ten nie został dotrzymany. Ustawa została uchwalona 13.06.2019 jako „Ustawa zmieniająca ustawę o zmianie ustawy o podatku akcyzowym oraz niektórych innych ustaw, ustawę o efektywności energetycznej oraz ustawę o biokomponentach i biopaliwach ciekłych” (<http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=W-DU20190001210>, dostęp: 7.07.2019).



Do zasilania silników spalinowych pojazdów samochodowych najczęściej używa się paliw płynnych. W zależności od rodzaju silnika można stosować różne substancje. Do zasilania silników wysokoprężnych używa się tzw. biodiesla. Biodiesel jest to olej napędowy stanowiący lub zawierający biologiczny komponent w postaci estrów metylowych kwasów tłuszczowych. W Europie jest to najczęściej metylowy ester rzepakowy (MER) (<http://www.kib.pl>, dostęp: 29.12.2006). Estry kwasów tłuszczowych mogą być stosowane w czystej postaci lub jako mieszanina z olejem napędowym. Jako czysta substancja sprzedawany jest na stacjach paliw pod oznaczeniem B100. Inne mieszaniny tych paliw są znane pod oznaczeniami:

- B80 – 80% estrów i 20% oleju napędowego,
- B20 – 20% estrów i 80% oleju napędowego.

Do produkcji biodiesla można używać zarówno tłuszczów pochodzenia zwierzęcego, jak i roślinnego. W Polsce zasadnicze znaczenie mają tłuszcze pochodzenia roślinnego. Podstawową rośliną do produkcji tłuszczu jest rzepak. Olej rzepakowy produkuje się z nasion w procesie tłoczenia.

Według danych statystycznych z 2018 r. grunty rolne w naszym kraju stanowią 16,4 mln ha (ok. 52% całkowitej powierzchni) (<https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/rolnictwo/uzytkowanie-gruntow-i-powierzchnia-zasiewow-w-2018-roku,8,14.html>, dostęp: 7.07.2019). W strukturze upraw największą powierzchnię zajmują zboża. Na ogół produkcja rolna całkowicie pokrywa zapotrzebowanie na żywność, a bardzo często na rynku występują problemy ze zbyt dużą ilością wyprodukowanego ziarna. Z tego właśnie powodu ważne dla rynku rolnego jest rozwinięcie przemysłowych kierunków wykorzystania produktów rolnych. Pozwoli to na ustabilizowanie rynku oraz na zwiększenie realnych dochodów mieszkańców wsi. W chwili obecnej największym potencjalnym obszarem takiego wykorzystania produktów rolnych jest właśnie rynek paliwowy.

Pozytywny wpływ na rozwój rynku rolnego będzie miało wykorzystanie surowców roślinnych do produkcji biopaliw. Pozytywne aspekty zastosowania biopaliw w motoryzacji są następujące:

- zmniejszenie ilości trujących substancji emitowanych do atmosfery oraz zmniejszenie wielkości hałasu wytwarzanego przez silniki spalinowe (aspekt ekologiczny);
- możliwość zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju przez dywersyfikację dostaw paliw stosowanych w motoryzacji;
- poszukiwanie nowych możliwości rozwoju produkcji oraz zbytu wyprodukowanych produktów rolnych.

Toksyczność spalin silnika zasilanego paliwem rzepakowym sprawdzona w Instytucie Lotnictwa na stanowisku hamowni według ECE Reg. 49 była niższa od toksyczności spalin z silnika zasilanego olejem napędowym:

- dla tlenku węgla – o 44%,
- dla węglowodorów – o 21%,
- dla tlenków azotu zwiększała się o 2%,
- ilość cząstek stałych zmniejszyła się o 68%.

Według regulaminu ECE Reg. 15:

- zawartość tlenku węgla była niższa o 10%,
- a zawartość węglowodorów i tlenków azotu wzrosła w granicach błędów pomiarów przy ogólnym zapasie do ograniczeń regulaminowych rzędu 70% dla CO i 90% dla HC+Nox.

W trakcie badań drogowych sprawdzano zadymienie spalin według ECE Reg. 24. Wartość zadymienia podczas badania była niższa niż zadymienie badanego nowego silnika zasilanego olejem napędowym (<http://www.ein.org.pl/sites/default/files/2003-03-02.pdf>, dostęp: 6.07.2019). Powyższe wyniki badań pokazują, że zastosowanie biodiesla do zasilania silnika wysokoprężnego powoduje zmniejszenie toksyczności spalin emitowanych do atmosfery.

Produkty ropopochodne emitują szkodliwe substancje do atmosfery nie tylko w czasie procesu spalania paliwa w silniku. Istotnym problemem występującym w czasie magazynowania i transportu paliw płynnych jest kwestia parowania lotnych substancji zawartych w tych paliwach. Zjawisko parowania paliwa dotyczy lżejszych frakcji ropy naftowej (benzyn) i jest uzależnione od wielu czynników. Do najważniejszych z nich należą: temperatura panująca w zbiorniku w czasie przeładunku, rodzaj zbiornika, intensywności mieszania. Im większa jest skala procesu, tym intensywniejsze jest zjawisko parowania. Pary produktów naftowych nie tylko powodują negatywne skutki dla środowiska, ale także przynoszą straty finansowe w postaci wartości „utraczonego” produktu oraz wskutek pobierania opłat za korzystanie ze środowiska. Paliw biodiesel, z uwagi na wysoką temperaturę zapłonu, nie dotyczy problem hermetyzacji par.

Inną istotną zaletą biopaliw w porównaniu z paliwami ropopochodnymi jest ich biodegradowalność. Badania przeprowadzone na Uniwersytecie Idaho w 1995 r. pokazały, że biodiesel ulega biodegradacji ok. dwóch razy szybciej niż standardowy olej napędowy. Ponadto wykazano, że biodiesel jako dodatek do oleju napędowego poprawia biodegradowalność takiej mieszanki. Dobra biodegradowalność paliw zawierających w swoim składzie biodiesel wynika z faktu prostej budowy cząsteczki estru metylowego. Tradycyjne paliwa ropopochodne

zawierają mniej tlenu oraz stanowią bardzo skomplikowane mieszaniny węglowodorów z wielokrotnymi wiązaniami podwójnymi, łańcuchami cyklicznymi itp. Taka skomplikowana struktura cząsteczkowa decyduje o ich niskiej biodegradowalności oraz zwiększonej toksyczności (<http://www.ein.org.pl/sites/default/files/2003-03-02.pdf>, dostęp: 6.07.2019).

Inną ważną zaletą stosowania biodiesla jest bezpieczeństwo jego użytkowania. Stosowanie biodiesla nie wiąże się z ryzykiem wybuchu oparów tej substancji. Paliwo to nie zawiera lotnych związków, które powodują niebezpieczeństwo zapłonu i pożaru w wypadku uszkodzenia zbiornika.

### Charakterystyka bioetanolu jako paliwa do pojazdów samochodowych

Do zasilania silników z zapłonem iskrowym, w odróżnieniu od silników wysokoprężnych, może być użyte inne paliwo wytwarzane także z surowców roślinnych – alkohol. Pierwsze próby zastosowania alkoholu jako paliwa dla silników odbywały się już w momencie konstruowania silników spalinowych spalania wewnętrznego. W 1876 r., kiedy Nikolaus Otto opracował swój silnik spalinowy, nie znano jeszcze metod przetwarzania ropy naftowej na skalę przemysłową i produkty rafinacji ropy nie były stosowane jako paliwo (<http://www.drewnozamiastbenzyny.pl/biopaliwa/alkohol>, dostęp: 30.1.2008). Paliwem do prototypowego silnika był 90–95-procentowy spirytus. Silnik pierwszego samochodu produkowanego w wielkich seriach Forda T był przystosowany do pracy przy użyciu alkoholu, benzyny lub ich mieszanki w dowolnych proporcjach.

Alkohol etylowy, zwany także bioetanolem, należy razem z metanolem do grupy paliw alkoholowych. Paliwa te oznaczano na rynku odpowiednio literami E (etanol) i M (metanol) oraz liczbą określającą udział czystego alkoholu w mieszance z węglowodorami. W zależności od zawartości poszczególnych składników można wyróżnić następujące odmiany tego paliwa (<http://www.biodiesel.pl>, dostęp: 31.1.2018):

- E10 – 10% etanolu i 90% węglowodorów,
- E85 – powszechnie nazywane jest paliwem etanolem i stanowi mieszankę 70–85% alkoholu i 30–15% paliwa węglowodorowego,
- bioetanol – stanowi mieszankę 5% alkoholu i 95% paliwa węglowodorowego.

Dodatek etanolu do paliwa spalanego w silniku iskrowym powoduje, że (<http://www.mos.gov.pl/>, dostęp: 1.05.2019):

- wzrasta liczba oktanowa paliwa,
- w gazach spalinowych obniża się stężenie tlenu węgla o 20–30%,
- zmniejsza się stężenie niespalonych węglowodorów o ok. 10% w stosunku do ich zawartości w spalinach silnika zasilanego czystą benzyną.

Powodem tak znaczących zmian w składzie spalin silników pracujących na czystym etanolu lub jego mieszkankach jest dodatkowy atom tlenu występujący w cząsteczkach alkoholu. Należy mieć na uwadze to, że obecnie eksploatowane silniki samochodowe bez wprowadzenia jakichkolwiek zmian konstrukcyjnych pozwalają na udział etanolu w benzynie tylko w ograniczonej ilości. W krajach Unii Europejskiej, wzorem USA, obowiązuje norma EN 228 dopuszczająca udział etanolu w benzynie nie większy niż 5%. Także w Polsce przyjęto dla wszystkich rodzajów benzyn ten sam 5-procentowy maksymalny poziom etanolu (PN-92/C-96025) (<http://www.mos.gov.pl>, dostęp: 1.05.2019).

Oprócz niewątpliwych zalet dla ochrony środowiska naturalnego oraz zdrowia mieszkańców dużych aglomeracji miejskich, szczególnie narażonych na emisję spalin silników samochodowych, zastosowanie paliw alkoholowych otwiera nowe możliwości wykorzystania produkcji rolnej. Nowe kierunki produkcji rolnej pozwolą na zwiększenie zbytu roślin będących surowcami energetycznymi, a tym samym przyczynią się do wzrostu poziomu życia na wsi. Nie bez znaczenia jest to, że wykorzystanie do produkcji paliw własnych surowców w znacznym stopniu zwiększy niezależność polskiego rynku paliw od światowych cen ropy i tym samym podniesie poziom bezpieczeństwa energetycznego.

Do produkcji alkoholu etylowego można używać różnych surowców. Rośliny produkowane przez rolnictwo w Polsce zapewniają duży potencjał produkcyjny oraz dywersyfikację surowców potrzebnych do produkcji tego paliwa. Tabela 10.1 przedstawia ilość surowca potrzebnego do wyprodukowania jednego litra czystego alkoholu etylowego.

**Tabela 10.1.** Produkcja alkoholu etylowego z różnego rodzaju surowców

Produkt	Ilość produktu potrzebna do wytworzenia 1 dm <sup>3</sup> spirytusu (kg)
Ziemniaki	12,5
Zboże	3,0–3,3
Buraki cukrowe	12,5
Melasa	3,3

Źródło: <http://www.biodiesel.pl> (dostęp: 18.05.2019).

Wszystkie najczęściej stosowane do produkcji etanolu surowce są uprawiane na terenie Polski w ilościach mogących zaspokoić potencjalny popyt w początkowym okresie wprowadzania nowego paliwa na rynek. Surowce do produkcji bioetanolu można zaliczyć do dwóch grup:

- odpady po produkcji przemysłowej, np. melasa;
- uprawy popularnych roślin, takich jak ziemniaki i zboża.

Oprócz zalet biopaliwa mają także wady. Przeciwnicy ich stosowania twierdzą, że biopaliwa, a szczególnie biodiesel:

- ma niższą wartość opałową powodującą większe zużycie paliwa;
- charakteryzuje się wyższą lepkością wpływającą na pogorszenie przebiegu procesu rozpylania paliwa oraz powodującą wzrost maksymalnej wartości ciśnienia wtrysku;
- może powodować obniżenie trwałości elementów stykających się z paliwem, a wykonanych z typowych elastomerów i gum;
- może powodować korozję pokryw lakierniczych elementów stykających się z paliwem;
- działa silnie korozyjne na stopy zawierające miedź, powiązane z tworzeniem;
- osadów i znacznie niższe oddziaływanie korozyjne na stal, cynk i ołów;
- intensywnie chłonie wodę;
- ma niską odporność na hydrolizę prowadzącą do powstawania szlamu i wytrącania osadów blokujących filtry paliwa;
- cechuje się większą podatnością na skażenia mikrobiologiczne;
- charakteryzuje się gorszą stabilnością termooksydacyjną, szybko pogarsza swoje właściwości w czasie przechowywania.

Oprócz aspektów technicznych pojawiają się często argumenty mówiące o tym, że biopaliwa są paliwami ekologicznymi tylko z pozoru. Zwiększenie powierzchni i intensywności upraw roślin będących podstawowym surowcem do produkcji biopaliw doprowadzi do zwiększenia zanieczyszczenia gleby i wód gruntowych związkami azotu. Na przykład uprawa rzepaku wymaga stosowania herbicydów, pestycydów i sporej ilości nawozów azotowych. Nawozy azotowe ulegają w glebie w ilości ok. 0,3% wagowych przemianie w szkodliwy podtlenek azotu N<sub>2</sub>O. Zwolennicy stosowania biopaliw odpierają te zarzuty, twierdząc, że takie problemy nie wystąpią ze względu na znaczny postęp w rolnictwie. Przykładowo we Francji nastąpiło zmniejszenie ilości stosowanych nawozów azotowych o 25% w ciągu ostatnich 20 lat (<http://www.mos.gov.pl>, dostęp: 1.05.2019).

## 10.4. Możliwości użycia biogazu jako paliwa alternatywnego

Do zasilania silników samochodowych może być używane także biopaliwo należące do grupy paliw gazowych. Jest to tzw. biogaz – paliwo powstające w wyniku fermentacji beztlenowej materii organicznej. Fermentacji może być poddana biomasa, odchody zwierzęce, osady ściekowe, biodegradowalne stałe odpady komunalne. Biogaz powstający samoczynnie na wysypiskach odpadów komunalnych zwany jest często gazem wysypiskowym.

Fermentacja metanowa jest to zespół beztlenowych procesów biochemicznych, w których wielocząsteczkowe substancje organiczne (głównie węglowodany, białka, tłuszcze oraz ich związki pochodne) są rozkładane do alkoholi lub niższych kwasów organicznych oraz metanu, dwutlenku węgla i wody. Procesy te zachodzą przy udziale zespołu mikroorganizmów, które żyją ze sobą w symbiozie. Część mikroorganizmów jest odpowiedzialna za rozkład do cząstek mniejszych masy wielocząsteczkowej. Związki o prostszej strukturze wykorzystują inne mikroorganizmy, które dokonują ich przemiany w związki metanogenne. Bakterie fermentacji metanowej stanowią najczęściej naturalną mikroflorę biomasy. Są bardzo rozpowszechnione w przyrodzie i z technologicznego punktu widzenia nie ma potrzeby dodawania do biomasy poddawanej fermentacji dodatkowych szczepów mikroorganizmów (<http://www.zeneris.com>, dostęp: 21.5.2019).

Biogaz nadający się do celów energetycznych może być produkowany z następujących materiałów:

- odpadów zwierzęcych w biogazowniach rolniczych,
- osadu ściekowego na oczyszczalniach ścieków,
- wysypiskach odpadów komunalnych.

Obecnie w Polsce pracuje ponad 300 biogazowni wytwarzających energię elektryczną różnych typów. Tabela 10.2 pokazuje ilość instalacji z podziałem na poszczególne województwa.

**Tabela 10.2.** Biogazownie w Polsce

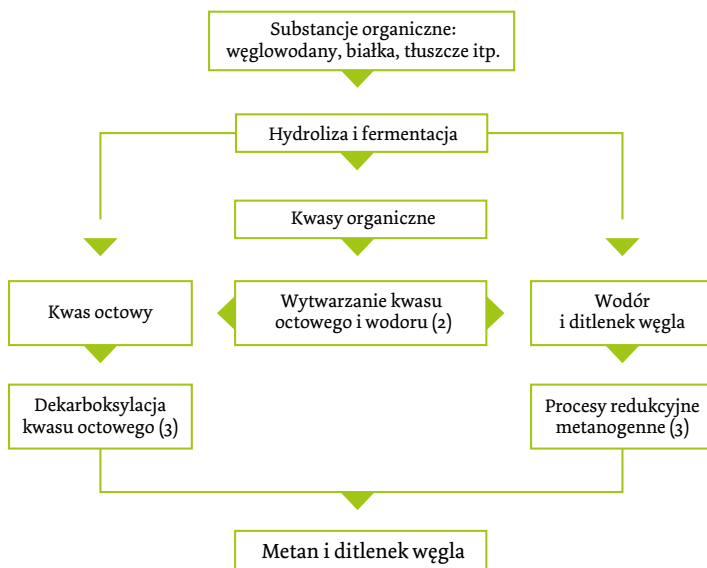
Województwo/ typ biogazowni	Przy oczyszczalni ścieków	Rolnicze	Przy składowiskach odpadów	Mieszane	Razem
Mazowieckie	13	5	20	0	38
Śląskie	17	2	15	1	35
Wielkopolskie	7	8	10	0	25
Dolnośląskie	10	9	9	1	29
Pomorskie	4	9	6	0	19
Zachodniopomorskie	4	13	8	1	26
Małopolskie	10	2	5	0	17
Kujawsko-pomorskie	5	6	7	0	18
Warmińsko-mazurskie	6	10	3	0	19
Łódzkie	3	4	4	0	11
Lubelskie	5	7	2	1	15

Województwo/ typ biogazowni	Przy oczyszczalni ścieków	Rolnicze	Przy składowiskach odpadów	Mieszane	Razem
Podlaskie	5	9	1	0	15
Podkarpackie	10	3	4	0	17
Lubuskie	2	4	2	0	8
Opolskie	3	1	3	0	7
Świętokrzyskie	2	1	1	0	4
<b>Razem</b>	106	93	100	4	303

Źródło: <https://www.cire.pl/item,141910,2,0,0,0,0,0,stan-biogazowni-w-polsce.html> (dostęp: 8.07.2019).

Podstawowym składnikiem biogazu jest metan w ilości ok. 50%. Pozostałymi składnikami biogazu jest dwutlenek węgla i azot. Ze względu na różne warunki, w jakich powstają poszczególne partie biogazu (skład biomasy, warunki fizyczne fermentacji, dostęp tlenu atmosferycznego itp.), zawartość poszczególnych składników biogazu może znacznie się wahać. Schemat procesów prowadzących do wytworzenia biogazu przedstawia rysunek 10.5.

**Rysunek 10.5.** Schemat przemian biochemicznych podczas fermentacji metanowej biomasy



Źródło: <http://www.zeneris.com> (dostęp: 21.5.2019).

Tabela 10.3 przedstawia główne składniki najczęściej występujące w biogazie. W zależności od konkretnego procesu fermentacji w biogazie mogą się znajdować śladowe ilości innych substancji.

**Tabela 10.3.** Skład biogazu powstającego na wysypiskach

Składnik	Zakres występowania (%)	Wartość średnia (%)
Metan	30–65	45
Dwutlenek węgla	20–40	35
Azot	5–40	15
Wodór	0–3	1
Tlen	0–5	1

Źródło: <http://www.drewnozamiastbenzyny.pl/biopaliwa/biogaz.php> (dostęp: 20.6.2019).

Oprócz biogazu, powstającego jako produkt uboczny składowania odpadów organicznych, możliwa jest także jego sztuczna produkcja. Biogaz produkuje się w komorach fermentacyjnych, w których w warunkach ustalonych przez człowieka procesowi fermentacji jest poddawany wsad substancji biologicznych w warunkach beztlenowych. Przykładowy schemat instalacji do produkcji biogazu przedstawia rysunek 10.6. Biogaz o dużej zawartości metanu (powyżej 40%) może być wykorzystany do celów użytkowych, głównie energetycznych, lub w innych procesach technologicznych. Typowe sposoby jego wykorzystania obejmują (<http://www.cire.pl/zielonaenergia/biomasa.html>, dostęp: 20.6.2019):

- produkcję energii elektrycznej w silnikach spalinowych lub turbinach gazowych,
- produkcję energii cieplnej w przystosowanych kotłach gazowych,
- produkcję energii elektrycznej i cieplnej w jednostkach skojarzonych,
- dostarczanie gazu wysypiskowego do sieci gazowej po jego wcześniejszym oczyszczeniu,
- wykorzystanie gazu jako paliwa do silników trakcyjnych/pojazdów,
- wykorzystanie gazu w procesach technologicznych, np. w produkcji metanolu.

W chwili obecnej biogaz zarówno pozyskiwany z odpadów organicznych na wysypiskach komunalnych, jak i produkowany w biogazowniach rolniczych jest wykorzystywany najczęściej jako paliwo do produkcji energii w miejscu jego pozyskania. Przy instalacjach odzyskania gazu wysypiskowego pracują najczęściej układy do produkcji energii skojarzonej. Produkują one zarówno ciepło, jak i energię elektryczną. Oba rodzaje energii można wykorzystać na miejscu na potrzeby własne lub sprzedać firmom ciepłowniczym i energetycznym.

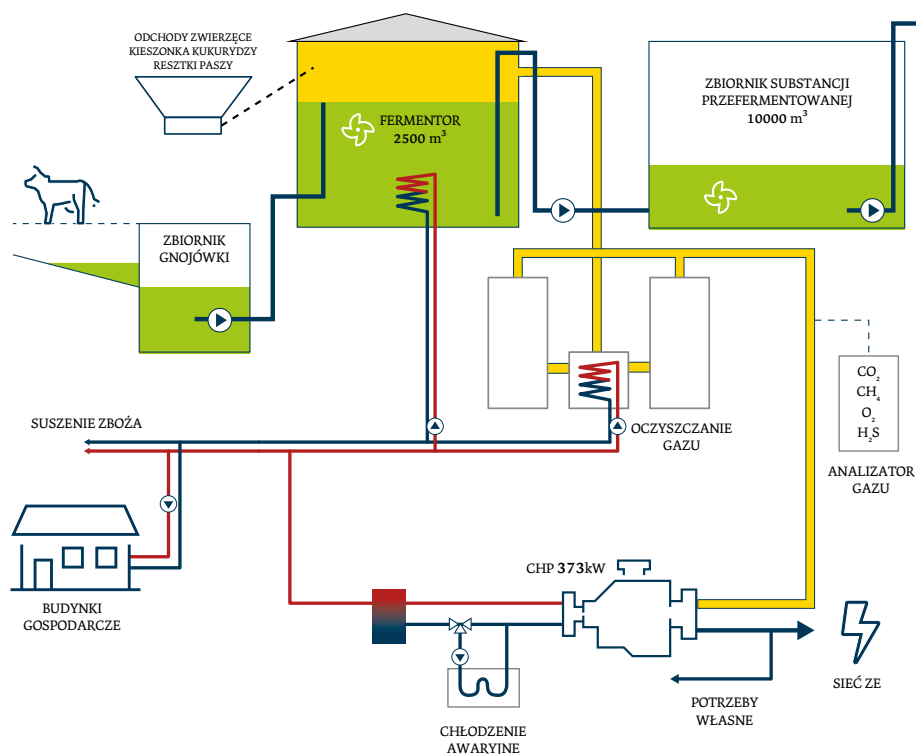


Biogazownie rolnicze są to wszelkie instalacje przemysłowe przetwarzające odpady poprodukcyjne, surowce rolnicze, płynne lub stałe odchody zwierzęce, produkty uboczne lub pozostałości przemysłu rolno-spożywczego albo biomasę leśną w procesie fermentacji metanowej. W tabeli 10.4 przedstawiono surowce pochodzenia organicznego, które były wykorzystane do produkcji biogazu w Polsce w 2018 r. Z tabeli wynika, że do produkcji biogazu użyto ponad 4 mln ton substancji, które zostały w ten sposób przetworzone i zneutralizowane.

Każda taka instalacja pełni trzy podstawowe funkcje:

- służy utylizacji odpadów pochodzenia organicznego i wytwarzaniu biogazu,
- służy produkcji energii elektrycznej i ciepła (lub chłodu) w urządzeniach kogeneracyjnych (trigeneracyjnych),
- produkuje stały materiał organiczny do wykorzystania jako nawóz lub paliwo stałe.

**Rysunek 10.6.** Schemat biogazowni



Źródło: opracowanie własne w oparciu o materiały informacyjne Centrum Elektroniki Stosowanej CES.

**Tabela 10.4.** Surowce wykorzystane do produkcji biogazu w Polsce w 2018 r.

Surowiec	Ilość w tonach
Wywar pogorzelniany	839 983,10
Pozostałości z owoców i warzyw	769 546,46
Gnojowica	757 554,75
Kiszonka z kukurydzy	482 805,07
Wysłodki buraczane	291 768,41
Osady technologiczne z przemysłu rolno-spożywczego	179 800,76
Odpady z przemysłu mleczarskiego	107 972,44
Obornik	85 422,02
Przeteterminowana żywność	73 620,30
Odpady poubojowe	66 827,72
Odpady z przetwórstwa spożywczego	66 345,42
Odpadowa masa roślinna	54 656,93
Zielonka	40 715,34
Owoce i warzywa	38 397,14
Kiszonka z traw i zbóż	25 418,99
Pomiot ptasi	22 524,87
Treści żołądkowe	18 387,46
Zboże, odpad zbożowy	13 136,79
Osady z przetwórstwa produktów roślinnych	13 046,02
Pasza	12 879,02
Tłuszcze	11 909,36
Słoma	6 849,06
Osady tłuszczowe	5 171,16
Odpady gastronomiczne	4 919,54
Odpady białkowe, tłuszczowe	3 590,09
Kawa	3 060,02
Płynne resztki pszenne	1 435,84
Osady drożdżowe	865,41
Odpady z produkcji oleju roślinnego	615,92

Surowiec	Ilość w tonach
Gliceryna	356,67
Oleje roślinne	204,33
Popłuczyny	150,36
Oleje fuzlowe	140,46
Mieszanina lecytyny i mydeł	40,04
Wytłoki poekstrakcyjne z produkcji farmaceutyków ziołowych	39,92
Razem	4 000 157,17

Źródło: <http://bip.kowr.gov.pl/informacje-publiczne/odnawialne-zrodla-energii/biogaz-rolniczy/dane-dotyczace-dzialalnosci-wytworcow-biogazu-rolniczego-w-latach-2011-2018> (dostęp: 5.07.2019).

Budowa i uruchomienie zakładu utylizacyjnego, jakim jest mała biogazownia rolnicza umożliwi rozwiązanie wielu problemów mających wpływ na środowisko naturalne na obszarach wiejskich. Problemy te generowane są przez produkcję rolniczą o charakterze przemysłowym. Do tych problemów należą:

- neutralizacja efektu zapachowego – w wyniku działania biogazowni utylizowana jest wprowadzona masa organiczna. Przefermentowana masa, używana docelowo jako nawóz, ma mniejsze właściwości emisji odorów związanych z rozkładem substancji organicznych;
- redukcja emisji CO<sub>2</sub> (metan) – biogazownia rolnicza powoduje redukcje emisji gazów cieplarnianych poprzez odzysk i przetworzenie metanu, który stanowi jeden z bardziej agresywnych gazów cieplarnianych. Efekt zatrzymania energii cieplnej w atmosferze dla metanu jest wielokrotnie większy od oddziaływania dwutlenku węgla (1 t metanu = 21 ton CO<sub>2</sub> równ.);
- polepszenie właściwości nawozowej przefermentowanej masy – nawóz pochodzący z biogazowni z uwagi na stopień jego przetworzenia jest bogatszy w składniki odżywcze, a przede wszystkim jest w lepszym stopniu przyswajalny przez nawożone rośliny. W efekcie możemy uzyskać zmniejszenie wykorzystywania nawozów sztucznych oraz znaczące polepszenie jakości gleb oraz wód w okolicach oddziaływania biogazowni.

Niewątpliwe zalety inwestowania w biogazownie rolnicze powodują, że zarówno liczba przedsiębiorców zainteresowanych tego typu inwestycjami, jak i ilość wytwarzanego przez nich gazu i energii elektrycznej w ostatnich latach odnotowuje trend wzrostowy. Dane dotyczące ilości wytworzonej energii i liczby podmiotów wpisanych do rejestru wytwórców biogazu rolniczego przedstawiają tabele 10.5 i 10.6.

**Tabela 10.5.** Ilość gazu i energii wytworzona w biogazowniach rolniczych w latach 2011–2018

Rok produkcji	Ilość wytworzonego biogazu rolniczego w mln m <sup>3</sup>	Ilość energii elektrycznej wytworzonej z biogazu rolniczego GWh	Ilość ciepła wytworzonego z biogazu rolniczego GWh
2011	36,646	73,433	82,638
2012	73,152	141,804	160,128
2013	112,412	227,89	246,557
2014	174,253	354,978	373,906
2015	206,236	429,4	224,996
2016	250,159	524,532	–
2017	291,742	608,269	–
2018	303,564	638,427	–

Źródło: <http://bip.kowr.gov.pl/informacje-publiczne/odnawialne-zrodla-energii/biogaz-rolniczy/dane-dotyczace-dzialalnosci-wytworcow-biogazu-rolniczego-w-latach-2011-2018> (dostęp: 7.07.2019).

**Tabela 10.6.** Liczba podmiotów wpisanych do rejestru wytwórców gazu rolniczego w latach 2011–2018

Liczba podmiotów wpisanych do rejestru wytwórców biogazu rolniczego według stanu na dzień								
1 stycznia 2011 r.	1 stycznia 2012 r.	1 stycznia 2013 r.	1 stycznia 2014 r.	1 stycznia 2015 r.	1 stycznia 2016 r.	1 stycznia 2017 r.	1 stycznia 2018 r.	31 grudnia 2018 r.
4	10	21	35	50	69	84	86	85

Źródło: <http://bip.kowr.gov.pl/informacje-publiczne/odnawialne-zrodla-energii/biogaz-rolniczy/dane-dotyczace-dzialalnosci-wytworcow-biogazu-rolniczego-w-latach-2011-2018> (dostęp: 17.07.2019).

Jeszcze w 2011 r. biogazownie rolnicze wytwarzały 36,64 mln m<sup>3</sup> biogazu, a w 2018 r. ilość ta wyniosła 303,56 mln m<sup>3</sup>. Ilość wytworzonej energii elektrycznej wzrosła w latach 2011–2018 z 73,43 GWh do ponad 638 GWh. Taką ilość gazu i energii wyprodukowało niespełna 100 wytwórców. Pokazuje to ciągły trend rosnący i zainteresowanie potencjalnych inwestorów. Mimo to należy uznać, że rozwój rynku może być niewystarczający. Zapotrzebowanie zarówno na energię elektryczną, jak też na paliwo gazowe jest w Polsce znacznie większe. Roczne zużycie gazu ziemnego dla całego kraju wynosi ok. 18 mld m<sup>3</sup>. Żeby stanowić znaczącą pozycję w bilansie energetycznym całego kraju, wytwarzanie biogazu musi w dalszym ciągu znacząco rosnąć.

Z kolei zestawienie zawarte w załączniku 1, umieszczonym na końcu rozdziału, przedstawia szczegółowe dane na temat poszczególnych wytwórców biogazu rolniczego. Z załącznika wynika, że biogazownie pracujące w Polsce produkują najczęściej pomiędzy 1 mln a 5 mln m<sup>3</sup> biogazu rocznie. Do rzadkości należą instalacje mogące wytwarzać ok. 10 mln gazu. Nieliczne są też instalacje produkujące poniżej 1 mln biogazu rocznie. Moc urządzeń elektrycznych rzadko przekracza 2 MWe, oscylując najczęściej w granicach 1 MWe. Dane te pozwalają zaliczyć większość instalacji produkujących biogazu i energię do małych wytwórców.

Z przedstawionych danych wynika, że rynek wytwórców biogazu zarówno z biogazowni rolniczych, jak i z pozostałych typów instalacji jest rynkiem w początkowej fazie rozwoju. Do jego dalszego wzrostu niezbędne będzie wsparcie władz pozwalające przekonać potencjalnych inwestorów do rozwijania swojego biznesu. Nowelizacja ustawy o odnawialnych źródłach energii wprowadza nowe systemy wsparcia w postaci gwarantowanych cen zakupu wytworzonej energii. Nie wiadomo, czy będą to wystarczające instrumenty do stymulacji wzrostu rynku.

Mieszanina gazów (tzw. gaz wysypiskowy), wydzielająca się z odpadów na wysypiskach śmieci, ma bardzo niekorzystny wpływ na stan środowiska naturalnego w przypadku jego uwolnienia do atmosfery. Główne składniki gazu (metan oraz CO<sub>2</sub>) to substancje podejrzewane o absorbowanie energii słonecznej i tym samym przyczyniające się do wzrostu efektu cieplarnianego. Metan zatrzymuje w atmosferze ziemskiej aż 21 razy więcej energii cieplnej niż ta sama ilość dwutlenku węgla. Żywotność metanu w atmosferze ziemskiej wynosi ok. 12 lat, po czym pod wpływem promieniowania słonecznego ulega on rozkładowi na wodę (w postaci pary) i dwutlenek węgla ([http://www.ekoenergia.pl/index.php?id\\_akt=149&plik=Metan\\_i\\_biogazownie.html](http://www.ekoenergia.pl/index.php?id_akt=149&plik=Metan_i_biogazownie.html), dostęp: 5.6.2019). Dużego znaczenia nabiera fakt, że gaz wysypiskowy można zebrać i wykorzystać w celach energetycznych, nie dopuszczając, aby uwalniał się do atmosfery.

W celu rozwoju technologii pozyskania biogazu oraz wymiany doświadczeń pomiędzy krajami pracującymi nad wykorzystaniem biogazu w motoryzacji powstał międzynarodowy projekt badawczy: *Biogas as Fuel Vehicle Market Expansion to 2020 Air Quality* (BIOGASMAX). W projekcie tym uczestniczą instytucje z pięciu krajów europejskich. Koordynatorem projektu jest francuskie miasto Lille. Głównymi uczestnikami projektu są:

- władze miasta Lille – koordynator programu,
- władze miasta i regionu Göteborg,
- władze miasta oraz lokalne firmy ze Sztokholmu,
- władze miasta Rzym,
- władze miasta Berno,
- miasto Toruń oraz miasto Zielona Góra razem z miejscowymi uniwersytetami.

Ze wszystkich uczestników programu najbogatsze doświadczenie dotyczące pozyskiwania i wykorzystania biogazu ma miasto Lille. Pierwsze eksperymenty z segregacją odpadów komunalnych władze miasta rozpoczęły w 1990 r. W tym samym roku zdecydowano się na próby z instalacją do odzyskiwania biogazu z osadów pościekowych w miejscowej oczyszczalni ścieków. W 1994 r. rozpoczęła pracę eksperymentalna instalacja pozyskiwania biogazu w miejskiej oczyszczalni ścieków w Marquette (<http://www.biogasmax.eu/fr/lille/experience-precedente>, dostęp: 20.08.2019). Instalacja ta zapewniała paliwo gazowe dla 4 autobusów zasilanych sprężonym biometanem. Podjęto także decyzję o budowie dwóch centrów gromadzenia, segregowania i przetwarzania odpadów organicznych z terenu miasta Lille na południe i północ od metropolii. Jednocześnie projekt przewidywał połączenie tych dwóch centrów drogą wodną i transport większości śmieci z wykorzystaniem barek rzecznych odciążających drogi publiczne.

W 1999 r. władze miasta podjęły decyzję o wymianie autobusów komunikacji miejskiej na autobusy zasilane sprężonym gazem ziemnym i sprężonym biometanem. W pierwszym etapie przejścia transportu miejskiego na paliwo gazowe nabyto 100 autobusów zasilanych metanem. W kolejnym etapie przewiduje się zakup następnych 100. W chwili obecnej po ulicach Lille jeździ 127 nowoczesnych pojazdów (<http://www.biogasmax.eu/fr/lille/experience-precedente/>, dostęp: 11.06.2019). Do obsługi floty pojazdów gazowych wybudowano dwie zajezdnie z instalacjami do tankowania biogazu i gazu ziemnego.

W 2007 r. zostało oddane do użytku Centrum Przetwarzania Odpadów Organicznych mogące wytwarzać ilość biometanu odpowiadającą 4 mln l oleju napędowego rocznie (<http://www.biogasmax.eu/lille/previous-experience>, dostęp: 11.06.2019). Miasto Lille w ramach projektu BIOGASMAX przekazuje swoim partnerom doświadczenia wynikające z wprowadzenia w życie wielkiego projektu obejmującego:

- segregację, przetwarzanie i wykorzystanie odpadów organicznych z terenu wielkiej aglomeracji miejskiej;
- wytwarzanie, oczyszczanie i wykorzystanie do napędu pojazdów ponad 4 mln m<sup>3</sup> biometanu na rok;
- eksploatację ponad 100 autobusów komunikacji miejskiej zasilanych sprężonym biometanem;
- organizację transportu drogą wodną 100 tys. ton odpadów;
- wprowadzenie biometanu po jego uzdatnieniu do lokalnej sieci gazowej.

Kolejnym partnerem programu BIOGASMAX są władze regionu Göteborg w zachodniej Szwecji. Lokalny program wspierający wprowadzanie biometanu jako paliwa samochodowego nosi nazwę *Biogas West*. Koordynatorem

tego programu jest Bussines Region Göteborg, a całe przedsięwzięcie zrzesza 25 podmiotów zainteresowanych współpracą w tej dziedzinie. Są to między innymi: władze lokalnych samorządów, firmy, autorytety naukowe oraz organizacje społeczne (<http://www.biogasmx.eu/goteborg/issues-and-choices>, dostęp: 11.6.2019).

Polscy partnerzy programu mają dużo skromniejsze osiągnięcia w dziedzinie odzyskiwania i wykorzystania biogazu. Na terenie wysypiska komunalnego w Toruniu – firma Biogaz Inwestor uruchomiła instalację odzysku gazu wysypiskowego. Prace rozwojowe zatrzymały się na etapie pozyskania gazu wysypiskowego z 82 studni do trzech generatorów o mocy 1324 KWe. Prace w kierunku oczyszczania i sprężania gazu do biometanu nie zostały podjęte ze względu na to, że wysypisko jest nieczynne, ilość pozyskiwanego gazu spada i instalacja ta wkrótce zakończy swoją działalność (<http://naszaenergia.kujawsko-pomorskie.pl/oze/artykuly/energia-z-biogazu>, dostęp: 4.07.2019).

Potencjał biogazu pozyskiwanego z odpadów w Polsce jest znaczny. W 2011 r. funkcjonowało w Polsce 155 biogazowni. Do 2015 r. ich liczba wzrosła do 278, a w 2018 r. – 303. Zestawienie ilości biogazowni w Polsce przedstawia tabela 10.8. Ich potencjał produkcyjny wynosił 0,18 mld m<sup>3</sup> biometanu. Tymczasem potencjał biogazu w Polsce wynosi 2,9–6,4 mld m<sup>3</sup>. Całkowity potencjał biometanu wynosi zatem do 3,8 mld m<sup>3</sup> (Gis i in. 2013).

**Tabela 10.7.** Typy biogazowni w Polsce

Województwo	Przy oczyszczalni ścieków	Rolnicze	Przy składowiskach odpadów	Mieszane	Razem
Mazowieckie	13	5	20	0	38
Śląskie	17	2	15	1	35
Wielkopolskie	7	8	10	0	25
Dolnośląskie	10	9	9	1	29
Pomorskie	4	9	6	0	19
Zachodniopomorskie	4	13	8	1	26
Małopolskie	10	2	5	0	17
Kujawsko-pomorskie	5	6	7	0	18
Warmińsko-mazurskie	6	10	3	0	19
Łódzkie	3	4	4	0	11

Województwo	Przy oczyszczalni ścieków	Rolnicze	Przy składowiskach odpadów	Mieszane	Razem
Lubelskie	5	7	2	1	15
Podlaskie	5	9	1	0	15
Podkarpackie	10	3	4	0	17
Lubuskie	2	4	2	0	8
Opolskie	3	1	3	0	7
Świętokrzyskie	2	1	1	0	4
<b>Razem</b>	106	93	100	4	303

Źródło: <https://www.cire.pl/item,141910,2,0,0,0,0,0,stan-biogazowni-w-polsce.html> (dostęp: 7.07.2019).

Jedyną instalację w Polsce przeznaczoną do odzysku gazu wysypiskowego, a następnie oczyszczenia i przygotowania sprężonego biometanu CBG uruchomiono w 2015 r. w podkrakowskich Niepołomicach. Instalacja została zbudowana przez Instytut Transportu Samochodowego z Warszawy w ramach międzynarodowego projektu *More Baltic Biogas Bus*, wspieranego ze środków unijnych, z zastosowaniem technologii opracowanej przez krakowską firmę NGV AUTOGAS. Celem tego projektu jest rozpowszechnianie wśród władz miast, przedsiębiorstw miejskiego transportu autobusowego i innych zainteresowanych podmiotów – idei pozyskiwania i stosowania biometanu do zasilania silników autobusów miejskich. Wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii ma tu znaczenie nie tylko dla dywersyfikacji źródeł energii i bezpieczeństwa energetycznego kraju, ale także dla bezpośredniego ograniczenia emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych. W projekcie, obok Instytutu Transportu Samochodowego, udział biorą przedsiębiorstwa transportu miejskiego, jednostki badawczo-rozwojowe, wybrane władze samorządowe ze Szwecji, Norwegii, Niemiec, Litwy, Łotwy i Estonii (<https://www.its.waw.pl/7696,pl,Seminarium-projektu-More-Baltic-Biogas-Bus.html>, dostęp: 1.07.2019).

Cała instalacja mieści się w dwóch 20-stopowych (długość 6 m) kontenerach. W pierwszym znajdują się urządzenia służące oczyszczania surowego gazu wysypiskowego. Oczyszczanie polega na odsiarczeniu wraz z separacją dwutlenku węgla. W drugim kontenerze znajduje się bardzo kompaktowy układ osuszania, sprężarka oraz magazyn składający się z 15 stalowych butli o pojemności 150 litrów każda. Magazyn gazu mieści łącznie ok. 400 Nm<sup>3</sup>



gazu pod ciśnieniem 250 barów. Ostatnia część instalacji jest dystrybutorem CBG wyposażonym w złącze do szybkiego tankowania (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,10161/k,6>, dostęp: 1.07.2019).

Wysypisko niepołomickie zaopatruje w gaz lokalną komunikację autobusową między Krakowem a Niepołomicami, a z badań kosztów jednostkowych produkcji biometanu z gazu wysypiskowego wynika, że koszty sprężonego biometanu z uruchomionej na wysypisku instalacji upgradingu biogazu, sprężania, magazynowania i dystrybucji biometanu (bez kosztów zakupu biogazu w Spółce „Wodociągi Niepołomice”) są dwukrotnie niższe niż cena klasycznego paliwa metanowego (CNG) w sieci dystrybucyjnej w Polsce.

**Rysunek 10.7.** Stacja tankowania sprężonego biogazu w Niepołomicach



Źródło: <http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,10161/k,6> (dostęp: 15.07.2019).

Biogaz produkowany w biogazowniach najczęściej jest wykorzystywany na miejscu, zasilając agregaty kogeneracyjne produkujące energię elektryczną. Z uwagi na formę gazową biogaz dużo trudniej magazynować i transportować niż biopaliwa płynne lub stałe. Te same problemy dotyczą innego paliwa – gazu ziemnego. Gaz ziemny jako paliwo kopalne wydobywany jest w ilościach przemysłowych w regionach świata, gdzie występują jego bogate złoża. Aby mógł być wykorzystywany w miejscach, gdzie jest na niego duże zapotrzebowanie, niejednokrotnie znacznie oddalonych od miejsca swojego wydobycia, muszą być zaangażowane technologie transportowe pozwalające na przesył gazu na znaczne odległości.

Klasyczną technologią jest przesył gazu gazociągami przeznaczonymi do tego typu działalności. Technologia ta ma swoje ograniczenia, z których najbardziej istotne są znaczne koszty budowy infrastruktury przesyłowej oraz mała elastyczność wyboru kierunków dostaw. Z uwagi na to oraz na zmiany na światowym rynku gazu ziemnego powstały lub zostały udoskonalone nowe technologie transportu i magazynowania węglowodorów (w szczególności metanu) w formie gazowej. Najważniejsze z nich to sprężanie gazu ziemnego do ciśnień rzędu 200–250 bar CNG (*compressed natural gas*) lub skraplanie gazu ziemnego LNG (*liquied natural gas*). Oba rozwiązania pozwalają na magazynowanie i przewożenie znacznych ilości surowca. Ta sama technologia pozwala na magazynowanie biogazu i używanie go jako paliwa w rozwiązaniach transportowych.

Metan jako paliwo może być używane w różnych gałęziach transportu. W transporcie lądowym metanem zasilane są zarówno pojazdy samochodowe, jak i lokomotywy obsługujące połączenia kolejowe. W transporcie morskim metan coraz częściej zastępuje klasyczne paliwo używane w żegludze, jakim jest ciężki olej napędowy.

Jednym z przykładów inwestycji w czyste technologie napędowe są plany zakupu przez norweskiego armatora statków wycieczkowych 6 promów o napędzie hybrydowym. Norweski armator – Hurtigruten, działający przede wszystkim w promowej żegludze przybrzeżnej, posiadający w swojej flocie także jednostki wycieczkowe, planuje wyposażyć swoje statki w systemy paliwowe oparte na wykorzystaniu ciekłego biogazu (LBG) produkowanego z odpadków rybnych. Norwegia jest światowym liderem w przetwórstwie rybnym, więc surowca do wytwarzania tego rodzaju paliwa kompanii Hurtigruten nie zabraknie. Do 2021 r. firma zamierza wyposażyć 6 swoich jednostek w alternatywne napędy oparte na LNG, energii elektrycznej lub biogazie w formie ciekłej. Norweski parlament przyjął krajowe cele klimatyczne, które zakładają, że do 2020 r. 20% całkowitego zużycia energii w Norwegii powinno pochodzić ze źródeł odnawialnych. W sektorze transportu 10% zużycia energii musi pochodzić ze

źródeł odnawialnych. Paliwo biogazowe dla sektora transportowego, w tym dla pojazdów ciężkich i jednostek pływających.

Norweski armator podpisał kontrakt na dostawę skroplonego biogazu z przedsiębiorstwem Biokraft posiadającym w chwili obecnej największy na świecie zakład produkujący skroplony biogaz (rys. 10.8). Kontrakt na dostawy tego paliwa został zawarty na 7,5 roku. Pierwsze dostawy mają się rozpocząć pod koniec 2019 r.

**Rysunek 10.8.** Biogazownia Biokraft w Skogn – Norwegia



Źródło: <http://scandinavianbiogas.test.hjartat.net/en/production-2/skogn> (dostęp: 10.07.2019).

Przedstawione przykłady pokazują potencjał, jaki tkwi w biopaliwach jako alternatywnym rozwiązaniu problemów związanych z rosnącym zapotrzebowaniem na energię rozwijającej się światowej gospodarki. Zanieczyszczenie środowiska oraz ocieplanie się klimatu, o co przynajmniej w części obwiniane są poszczególne sektory gospodarki wytwarzające energię ze standardowych paliw kopalnych, wymuszają szukanie alternatywnych rozwiązań. Biopaliwa mogą stanowić rozwiązanie, które co prawda nie jest idealne, ale zapewnia sprostanie przynajmniej części pojawiających się wyzwań.

Wytwarzanie energii z biopaliw ogranicza w znacznym stopniu emisję szkodliwych substancji i poprawia bilans dwutlenku węgla emitowanego do atmosfery. Różne formy biopaliw, od substancji stałych, przez ciekłe, aż do biogazu, pozwalają znaleźć rozwiązania techniczne umożliwiające wykorzystanie biopaliw w energetyce zawodowej, małych instalacjach wytwarzających energię w systemach kogeneracyjnych czy też korzystanie z biopaliw jako paliw w różnych gałęziach transportu.

Przytoczone przykłady pokazują, że zarówno na świecie, jak i w Polsce, rozwój technologii wytwarzania energii w przyjazny sposób postępuje, ale wymaga ciągłego wsparcia ze strony rządzących, a także zwykłych obywateli.

Załącznik 1. Rejestr biogazowni rolniczych

Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w MWe
1	BGR/ARR00002/2011	1.01.2011 r.	Biogaz Agri Sp. z o.o.	Łosice 14C 55-095 Mirków	896-14-46-965	Niedoradz 67-106 Otyń woj. Lubuskie	1 100 000	0,252
2	BGR/ARR00006/2011	18.03.2011 r.	Biogaz Zenetis Sp. z o.o.	ul. Sielska 17A 60-129 Poznań	525-24-22-364	Skrzatusz 64-930 Szydłowo woj. wielkopolskie	2 246 400	0,526
3	BGR/ARR00007/2011	11.04.2011 r.	Eko-Energia Grzmiąca Sp. z o.o.	ul. Sportowa 5 78-450 Grzmiąca	673-185-55-41	ul. Sportowa 5 78-450 Grzmiąca woj. zachodniopomorskie	7 000 000	1,6
4	BGR/ARR00008/2011	23.08.2011 r.	BIO-WAT Sp. z o.o.	ul. Metalowców 22 58-100 Świdnica	884-26-89-118	ul. Metalowców 22 58-100 Świdnica woj. dolnośląskie	4 000 000	0,9
5	BGR/ARR00009/2011	23.09.2011 r.	BIO-BUT Sp. z o.o.	Łany Wielkie ul. Łabędzka 54 44-153 Sośnicowice	969-151-85-42	Łany Wielkie ul. Łabędzka 54 44-153 Sośnicowice woj. śląskie	4 100 000	0,996
6	BGR/ARR00011/2011	23.12.2011 r.	Bioelektrownia Sp. z o.o.	ul. Grzybowska 87 00-844 Warszawa	527-257-66-62	Uhmni 141 21-211 Dębowa Kłoda woj. lubelskie	4 500 000	1,2
7	BGR/ARR00012/2012	24.02.2012 r.	Bioenergy Project Sp. z o.o.	ul. Rajska 4/23 02-654 Warszawa	521-353-67-67	Konopnica 121 96-200 Rawa Mazowiecka woj. łódzkie	9 353 755	1,998
8	BGR/ARR00013/2012	28.02.2012 r.	Allter Power Sp. z o.o.	ul. Chałubińskiego 8 00-613 Warszawa	526-27-94-883	Melno 86-330 Melno woj. kujawsko-pomorskie	6 200 000	1,6
9	BGR/ARR00014/2012	5.03.2012 r.	BIOENERGIA PLUS Sp. z o.o.	ul. Cisowa 11 20-703 Lublin	712-317-91-70	ul. Zamojska 26C 21-050 Piaski woj. lubelskie	4 250 000	0,999

Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w Mwe
10	BGR/ARR00015/2012	7.03.2012 r.	AWW Wawrzyniak Sp. J.	Niedźwiady 45 62-800 Kalisz	968-085-40-93	Zbiersk Cukrownia 61 62-830 Zbiersk woj. wielkopolskie	4 176 558	1,6
11	BGR/ARR00016/2012	9.03.2012 r.	Biogal Sp. z o.o.	Boleszyn 7 13-308 Mroczo	877-14-64-492	Boleszyn 7A 13-308 Mroczo woj. warmińsko-mazurskie	7 840 000	2
12	BGR/ARR00017/2012	17.05.2012 r.	GOSPODARSTWO ROLNE Kargowa – Klepsk Ryszard Maj	ul. Dworcowa 26 66-120 Kargowa	698-000-25-01	Klepsk 53 66-111 Nowe Krainsko woj. lubuskie	3 500 000	1
13	BGR/ARR00018/2012	22.06.2012 r.	P.P.-H.-U. „SERAFIN” Sp. z o.o.	Szklarka Mysłitewska 68A 63-500 Ostrzeszów	514-031-76-85	Szklarka Mysłiniwska 68A 63-500 Ostrzeszów woj. wielkopolskie	3 500 000	0,99
14	BGR/ARR00020/2012	2.08.2012 r.	Elektrociepłownia Bartos Sp. z o.o.	ul. Czarnowska 6 26-065 Piekoszków	959-181-30-17	ul. Czarnowska 56C 26-065 Piekoszków woj. świętokrzyskie	2 464 000	0,8
15	BGR/ARR00021/2012	12.09.2012 r.	Polskie Biogazownie „Energy Zalesie”, Sp. z o.o.	ul. Kłobucka 25 02-699 Warszawa	752-14-26-194	ul. Osiedlowa 4, Zalesie 46-146 Domaszowice woj. opolskie	8 000 000	2
16	BGR/ARR00024/2012	23.10.2012 r.	Südzucker Polska S.A.	ul. Muchoborska 6 54-424 Wrocław	747-12-05-797	ul. Ząbkowicka 53 57-100 Strzeżelin woj. dolnośląskie	9 894 549	2
17	BGR/ARR00025/2013	7.01.2013 r.	DMG Sp. z o.o.	Koeczergi 56B 21-200 Parzew	539-148-22-17	Koeczergi 56B 21-200 Parzew woj. lubelskie	9 000 000	2,4
18	BGR/ARR00027/2013	30.01.2013 r.	BIO-POWER Sp. z o.o.	ul. Zahajkowska 11 21-560 Międzyrzec Podlaski	537-253-95-19	Zaścianki 86 21-560 Międzyrzec Podlaski woj. lubelskie	7 850 000	2,199

Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w MWe
19	BGR/ARR00028/2013	25.04.2013 r.	Cargill Poland Sp. z o.o.	ul. Woloska 22 02-675 Warszawa	525-239-33-32	ul. Mac Millan 1 Bielany Wrocławskie 55-040 Kobierzyce woj. dolnośląskie	1 300 000	0,526
20	BGR/ARR00029/2013	8.05.2013 r.	Biogazownia Rypin Sp. z o.o.	Starorypin Prywatny 51 87-500 Rypin	892-146-48-33	Starorypin Prywatny 51 87-500 Rypin woj. kujawsko-pomorskie	6 881 090	1,875
21	BGR/ARR00030/2013	19.06.2013 r.	Minex-Invest Sp. z o.o.	ul. Chałubińskiego 8, 00-613 Warszawa	526-25-07-599	Łęguty 15 11-036 Gietrzwałd woj. warmińsko-mazurskie	4 561 200	1,2
22	BGR/ARR00032/2013	9.08.2013 r.	Nadmorskie Elektrorownie Wiatrowe Darżyno Sp. z o.o.	ul. Łoży 21 80-516 Gdańsk	583-275-92-29	Darżyno działka Nr.244/6, obręb Darżyno 76-230 Potęgowo woj. pomorskie	10 000 000	2,4
23	BGR/ARR00033/2013	7.08.2013 r.	Zakład Usługowo-Handlowy „Wojciechowski” Zdzisław Wojciechowski	Sobawiny 7E 26-300 Opoczno	768-000-11-59	Opoczno, działki nr 33, 34 i 35 obręb 4 Opoczno 26-300 Opoczno woj. Łódzkie	3 700 000	0,86
24	BGR/ARR00034/2013	14.08.2013 r.	EL-KA Sp. z o.o.	Byszewo 17 73-150 Łobez	253-031-57-87	Byszewo 17 73-150 Łobez woj. zachodniopomorskie	3 888 000	0,999
25	BGR/ARR00035/2013	22.08.2013 r.	BIOGAZ Przemysław „Łąkról” Sp. z o.o. sp. k.	Wiewiecko 36C 73-155 Węgorzyno	253-032-41-48	dz. 2/74 Przemysław 72-315 Resko woj. zachodniopomorskie	7 000 000	1,6
26	BGR/ARR00036/2013	19.09.2013 r.	FARM FRITES POLAND S.A.	ul. Abrahama 13 84-300 Łębork	526-001-79-51	ul. Abrahama 13 84-300 Łębork woj. pomorskie	3 500 000	1,2

Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w MWe
27	BGR/ARR00039/2013	16.12.2013 r.	Agro Bio Sp. z o.o.	Slawkowo 15 11-400 Kętrzyn	742-224-16-81	Slawkowo 15 11-400 Kętrzyn woj. warmińsko-mazurskie	1 680 000	0,4
28	BGR/ARR00040/2013	23.12.2013 r.	Eco-Progres Sp. z o.o.	ul. Strefowa 7 19-300 Elk	848-153-64-67	Giże 4 19-400 Olecko woj. warmińsko-mazurskie	4 240 000	1,063
29	BGR/ARR00041/2013	30.10.2013 r.	Ośrodek Hodowli Zarodowej „Gajewo” Sp. z o.o.	Katdowo 2 82-200 Malbork	579-10-04-289	Tragamin 82-200 Malbork woj. pomorskie	2 880 000	0,8
30	BGR/ARR00042/2014	20.01.2014 r.	ADLER BIOGAZ Sp. z o.o.	ul. Szosa Baranowicka 62A Zaszcianki 15-521 Białystok	966-201-83-40	Ryboły 1/1 16-060 Zabłudów woj. podlaskie	4 380 000	1
31	BGR/ARR00044/2014	5.02.2014 r.	ENEA Wytwarzanie Sp. z o.o.	Świerże Górné ul. Aleja Józefa Zielińskiego 1 26-900 Kozienice	812-000-54-70	Liszkowo 87-93 88-180 Złotniki Kujawskie woj. kujawsko-pomorskie	7 400 000	2,126
32						Gorzewo 83 56-420 Bierutów woj. dolnośląskie	4 750 385	1,698
33	BGR/ARR00045/2014	5.02.2014 r.	Instytut Zarządzaniai Samorządności Sp. z o.o.	ul. Tadeusza Boya- Żeleńskiego 24 51-160 Wrocław	895-17-69-081	ul. Lipowa 7A 58-210 Łagiewniki woj. dolnośląskie	3 335 220	0,989
34	BGR/ARR00046/2014	19.02.2014 r.	Biogaz Działyń Sp. z o.o.	Działyń 24, 62-271 Działyń	784-248-85-95	Działyń 24, 62-271 Działyń woj. wielkopolskie	5 000 000	0,999
35	BGR/ARR00047/2014	28.03.2014 r.	UPALTY-ROL Sp. z o.o.	Upalty Małe 7A, 11-500 Giżycko	845-000-72-65	Upalty Małe 7A, 11-500 Giżycko woj. warmińsko-mazurskie	4 798 718	0,999

Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w MWe
36	BGR/ARR00048/2014	9.04.2014 r.	BIO-NIK ELEKTRA sp. z o.o.	Al. Grunwaldzka 411 80-309 Gdańsk	604-015-41-26	ul. Szkolna 17, 14-220 Kistelice, woj. warmińsko-mazurskie	4 450 000	0,999
37	BGR/ARR00049/2014	18.04.2014 r.	Wielkopolski Indyk Sp. z o.o.	Bolesławiec 12A 62-050 Mosina	777-327-17-56	Bolesławiec 12A 62-050 Mosina woj. wielkopolskie	2 520 500	0,6
38	BGR/ARR00050/2014	6.05.2014 r.	Polskie Biogazownie "ENERGY-ZÓRAWINA" Sp. z o.o.	ul. Błacharska 2 61-006 Poznań	631-258-42-44	ul. Badawcza 6 Żerniki Wielkie 55-020 Żórawina woj. dolnośląskie	4 818 000	1,2
39	BGR/ARR00051/2014	22.05.2014 r.	EKWOOD Sp. z o.o.	ul. Kitzemowa 11 19-300 Elk	848-166-18-30	Zajdy 15A 19-400 Olecko woj. warmińsko-mazurskie	3 900 000	1,063
40	BGR/ARR00052/2014	27.06.2014 r.	GOSPODARSTWO ROLNEBIOGAZ T. Z. Śmiechowscy Sp. z o.o.	Jaromierz 3b 77-300 Człuchów	843-159-45-63	Jaromierz 3b 77-300 Człuchów woj. pomorskie	4 488 902	0,999
41	BGR/ARR00053/2014	14.08.2014 r.	Bioelektrownia Bucek Sp. z o.o.	Bucek 10 86-131 Jeżewo	783-129-30-14	Bucek 10 86-131 Jeżewo woj. kujawsko-pomorskie	7 000 000	1,8
42	BGR/ARR00054/2014	25.08.2014 r.	Bioelektrownia Przykona Sp. z o.o.	ul. Komunalna 10 62-731 Psary	779-235-32-77	ul. Komunalna 10 Psary 62-731 Psary woj. wielkopolskie	8 000 000	1,897
43	BGR/ARR00055/2014	4.09.2014 r.	Biogas East Sp. z o.o.	Grochów Szlachecki ul. Sokołowska 5 08-300 Sokołów Podlaski	823-164-05-83	ul. Rawicza 153 Grochów Szlachecki 08-300 Sokołów Podlaski woj. mazowieckie	3 090 000	0,7
44	BGR/ARR00056/2014	1.10.2014 r.	OZE 11 Sp. z o.o.	Stare Miasto 512 37-300 Leżajsk	593-254-62-43	Stare Miasto 512 37-300 Leżajsk woj. podkarpackie	4 000 000	0,999



Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w MWe
45	BGR/ARR00058/2014	29.12.2014 r.	Zakład Doświadczalny Instytutu Zootechniki PIB Odrzechowa Sp. z o.o.	ul. Rymanowska 67 Odrzechowa 38-530 Zarszyn	687-17-24-187	ul. Rymanowska 67 Odrzechowa 38-530 Zarszyn woj. podkarpackie	2 200 000	0,5
46	BGR/ARR00059/2015	22.01.2015 r.	Biogazownia Brzeżno Sp. z o.o.	Brzeżno 30 78-316 Brzeżno	672-208-05-08	Brzeżno 30 78-316 Brzeżno woj. zachodniopomorskie	3 500 000	0,8
47	BGR/ARR00060/2015	27.02.2015 r.	CHP ENERGIA Sp. z o.o.	Wojny Wawrzyńce 1 18-210 Szepietowo	722-16-24-470	Wojny Wawrzyńce 1 18-210 Szepietowo woj. Podlaskie	4 555 000	1,2
48	BGR/ARR00061/2015	24.03.2015 r.	EKOGAZ Sp. z o.o.	ul. Hallera 2A 63-900 Rawicz	699-193-00-67	ul. W. Witosa 13 56-200 Góra woj. dolnośląskie	2 172 612	0,6
49	BGR/ARR00062/2015	29.04.2015 r.	EKODAMIR Sp. z o.o. sp. k.	Jarmońtowo 73 14-330 Małdyty	741-212-50-16	Jarmońtowo 73 14-330 Małdyty woj. warmińsko-mazurskie	1 100 000	0,25
50	BGR/ARR00063/2015	24.06.2015 r.	Firma Handlowo UsługowoTransportowa MASTERROADKatarzyna Klósek	Ujazd 80 32-733 Trzciana	868-171-22-71	Ujazd 80 32-733 Trzciana woj. małopolskie	864 000	0,15
51	BGR/ARR00065/2015	3.07.2015 r.	P.P.H. „KONTRAKT” Sp. z o.o.	ul. Grunwaldzka 32 13-200 Działdowo	571-00-08-404	Orehówek ul. Garbarska 16 22-200 Włodawa woj. lubelskie	3 500 000	1,063
52	BGR/ARR00066/2015	5.08.2015 r.	EKO-FARMENERGIA Sp. z o.o.	ul. Lotników Lewoniewskich 11A 16-100 Sokółka	545-17-99-692	ul. Lotników Lewoniewskich 11A 16-100 Sokółka woj. Podlaskie	3 338 700	0,999

Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w MWe
53	BGR/ARR00067/2015	11.09.2015 r.	PGIB Development Sp. z o.o.	ul. Gotarda 9 02-683 Warszawa	521-34-80-765	ul. Piaskowa 30 78-520 Złocieniec woj. zachodniopomorskie	4 747 920	0,999
54						Darskowo 7D 78-520 Złocieniec woj. zachodniopomorskie	4 747 920	0,999
55	BGR/ARR00068/2015	24.09.2015 r.	Gospodarstwo Rolne Marek Dyczewski	Czerwonka 11 16-411 Szypliszki	844-107-37-71	Czerwonka 11 16-411 Szypliszki woj. podlaskie	420 000	0,1
56	BGR/ARR00069/2015	9.10.2015 r.	Zielona Energia Michałowo Sp. z o.o.	ul. Białostocka 78 16-050 Michałowo	966-208-35-09	ul. Białostocka 78 16-050 Michałowo woj. podlaskie	2 300 000	0,6
57	BGR/ARR00070/2015	16.10.2015 r.	Przedsiębiorstwo Rolne „PERKUN” Sp. z o.o.	Pierkunowo 1 11-500 Grzycko	845-000-04-58	dz. 32/5 Pierkunowo 1 11-500 Grzycko woj. warmińsko-mazurskie	2 200 000	0,496
58	BGR/ARR00071/2015	18.11.2015 r.	LOREGA BIO Sp. z o.o.	Brzeźnica 1 11-420 Strokowo	742-22-35-172	Brzeźnica 1 11-420 Strokowo woj. warmińsko-mazurskie	4 213 195	0,999
59	BGR/ARR00072/2015	18.11.2015 r.	ENERBIO Sp. z o.o.	ul. Wschodnia 23 99-300 Kutno	593-254-62-66	ul. Wschodnia 23 99-300 Kutno woj. łódzkie	4 000 000	0,999
60	BGR/ARR00073/2015	25.11.2015 r.	Elektrownia Biogazowa Cychry Sp. z o.o.	ul. Ratajczaka 26/110 61-815 Poznań	781-185-30-71	ul. Brunatna 17 62-510 Konin woj. wielkopolskie	7 400 000	2,134
61	BGR/ARR00074/2015	4.12.2015 r.	ECO-PHARMA Wojciech Radoszewski	Długie 2A 87-337 Wąpelsk	879-025-72-97	Długie 2A 87-337 Wąpelsk woj. kujawsko-pomorskie	440 000	0,09

Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w Mwe
62	BGR/ARR00075/2015	11.12.2015 r.	Biogazownia Rolnicza Barbara Gaik	Chelmo 119A 97-515 Masłowice	772-131-38-33	Chelmo 119A 97-515 Masłowice woj. łódzkie	4 859 244	1,2
63	BGR/ARR00076/2015	16.12.2015 r.	PGB ENERGETYKA 13 Sp. z o.o.	ul. Gotarda 9 02-683 Warszawa	521-36-51-310	Stary Korwin 2A 17-204 Dubicze Cerkiewne woj. podlaskie	4 747 920	0,999
64	BGR/ARR00078/2015	30.12.2015 r.	BIOGAZOWNIA SZCZEDRZYKOWICE Sp. z o.o.	Szczedrzykowiec 26C 59-230 Prochowice	929-183-15-19	Szczedrzykowiec 26C 59-230 Prochowice woj. dolnośląskie	4 000 000	0,999
65	BGR/ARR00079/2015	30.12.2015 r.	PGB ENERGETYKA 2 Sp. z o.o.	ul. Gotarda 9 02-683 Warszawa	521-36-50-641	Tonieża 88A 07-100 Litw woj. mazowieckie	4 009 120	0,999
66	BGR/ARR00081/2015	30.12.2015 r.	PGB ENERGETYKA 3 Sp. z o.o.	ul. Gotarda 9 02-683 Warszawa	521-36-50-635	Krzywa 48A 17-100 Bielsk Podlaski woj. podlaskie	4 009 120	0,999
67	BGR/ARR00082/2016	1.01.2016 r.	Spółka Rolna Kalsk Sp. z o.o.	Kalsk 69A 66-100 Sulechów	927-000-99-78	Kalsk 69A 66-100 Sulechów woj. lubuskie	5 000 000	1,14
68	BGR/ARR00083/2016	7.01.2016 r.	PGB ENERGETYKA 7 Sp. z o.o.	ul. Gotarda 9 02-683 Warszawa	521-36-51-422	ul. Ostiedłowa 7 Gorajec 37-611 Cieszanów woj. podkarpackie	4 747 920	0,999
69	BGR/ARR00084/2016	7.01.2016 r.	PGB ENERGETYKA 4 Sp. z o.o.	ul. Gotarda 9 02-683 Warszawa	521-36-50-658	Dzierżki 27 18-112 Poświętne woj. podlaskie	4 747 920	0,999
70	BGR/ARR00085/2016	25.01.2016 r.	Rolnicza Bioelektrownia Rzezyca Sp. z o.o.	ul. Ostów 18 04-733 Warszawa	952-207-31-49	działki nr: 272/1, 274/2, 274/3, 276, 277 obręb Rzezyca 78-641 Rzezyca woj. zachodniopomorskie	3 985 000	0,999

Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w Mwe
71	BGR/ARR00086/2016	19.02.2016 r.	BIO-ENERGIA STRZYKOCIN Sp. z o.o.	Strzykocin 18A 72-304 Brojce	857-190-53-88	Strzykocin 18A 72-304 Brojce woj. zachodniopomorskie	3 861 171	0,999
72	BGR/ARR00087/2016	25.02.2016 r.	GRUPA PRODUKCYJNA AGRO-ŻABICE Sp. z o.o.	Żabice 52 59-140 Chocianów	502-010-39-58	Żabice 52 59-140 Chocianów woj. dolnośląskie	780 000	0,499
73	BGR/ARR00088/2016	17.03.2016 r.	Lubelskie Biogazownie Sp. z o.o. w restrukturyzacji	ul. Fryderyka Chopina 32 lok. 3 20-023 Lublin	946-252-63-85	Kozańcówka 130 21-533 Rososz woj. lubelskie	3 500 000	0,999
74						Przypisówka 59A 21-136 Firlej woj. lubelskie	3 500 000	0,999
75	BGR/ARR00089/2016	30.03.2016 r.	BIOGAZOWNIE MAŁOPOLSKIE Sp. z o.o.	Wielopole 62 33-210 Olesno	871-17-69-897	Wielopole 62 33-210 Olesno woj. małopolskie	4 506 000	
76	BGR/ARR00090/2016	7.04.2016 r.	BIOGAZOWNIA SKARŻYNSP. z o.o.	ul. Świętokrzyska 30/63 00-116 Warszawa	701-02-01-258	Skarżyn ul. Parkowa 7b 09-100 Płonsk woj. mazowieckie	6 040 620	1,56
77	BGR/ARR00091/2016	15.04.2016 r.	GREEN ENERGY Sp. z o.o.	ul. Jana III Sobieskiego 102A lok. U7 00-764 Warszawa	701-018-28-39	Krasowo Czeski 55 18-212 Nowe Piekuty woj. podlaskie	2 221 153,80	0,7
78	BGR/ARR00092/2016	13.05.2016 r.	AgroElektroGaz Sp. z o.o.	ul. Opaczewska 43 02-201 Warszawa	525-243-27-76	Drzonowo 50 78-133 Drzonowo woj. zachodniopomorskie	4 500 000	1,052
79	BGR/ARR00093/2016	30.05.2016 r.	RZEŹNIA-MRÓZ Sp. z o.o.	Borzyczki 29A 63-720 Koźmin Wielkopolski	621-148-81-31	Borzyczki 29A 63-720 Koźmin Wielkopolski woj. wielkopolskie	3 600 000	1,2

Lp.	Numer ewidencyjny	Data wpisu	Nazwa	Adres siedziby	NIP	Miejsce wykonywania działalności	Ilość wytworzonego gazu m <sup>3</sup> /rok	Łączna moc elektryczna w MWe
80	BGR/ARR00094/2016	10.06.2016 r.	DRP BIOGAZ Sp. z o.o.	Sienski 1 66-620 Gubin	926-167-06-32	Siensk 1 66-620 Gubin woj. lubuskie	1 500 000	0,4
81	BGR/ARR00095/2016	30.06.2016 r.	ALSTAL BUDOWNICTWO Aljoży Szczupak	ul. Kwiatowa 23 88-110 Jacewo	556-080-22-46	działki nr 72/1, nr 73/3 Radziejewice 88-101 Inowrocław woj. kujawsko-pomorskie	1 752 000	0,5
82	BGR/ARR00096/2016	13.07.2016 r.	GAMAWIND Sp. z o.o.	ul. Droga Debińska 3a 61-555 Poznań	593-253-62-62	Piaszczyzna 77-200 Miastko woj. pomorskie	6 880 000	2
83	BGR/ARR00097/2016	4.11.2016 r.	Zakład Doświadczalny Instytutu Zootechniki PIB Grodziec Śląski im. Prof. Mieczysława CzajSp. z o.o.	Grodziec Śląski 3 43-386 Świętoszówka	548-219-10-98	Kostkowice ul. Osiedlowa 19 43-426 Dębowice woj. śląskie	2 300 000	0,6
84	BGR/ARR00098/2016	20.12.2016 r.	IMA Polska S.A.	ul. Polna 21 62-095 Murowana Goślina	782-251-03-05	ul. Polna 21 62-095 Murowana Goślina woj. wielkopolskie	1 559 425	0,48
85	BGR/ARR00099/2017	4.01.2017 r.	Profarms Sp. z o.o.	Zielona ul. Robotnicza 16 09-310 Kuczbork- Osada	781-188-09-32	Zielona ul. Robotnicza 16 09-310 Kuczbork-Osada woj. mazowieckie	500 000	0,08
86	BGR/ARR00100/2017	31.08.2017 r.	PFEIFER & LANGEN POLSKA S.A.	ul. Mickiewicza 35 60-837 Poznań	784-000-34-12	Zygmuntowo 38 06-450 Gliniołek woj. mazowieckie	7 305 840	1,56
87	BGR/ARR00101/2017	16.10.2017 r.	XOGO Sp. z o.o.	ul. Trzy Lipy 3 80-172 Gdansk	583-315-60-71	Działka 35/8 Kuźnica Czarnkowska 64-701 Kuźnica Czarnkowska woj. wielkopolskie	2 500 000	0,24
							366 899 078	92

Źródło: [http://www.kowr.gov.pl/uploads/pliki/ozebiogaz/Rejestr\\_wytw%C3%B3rc%C3%B3w\\_biogazu\\_rolniczego\\_z\\_dnia\\_19.02.2019\\_r.pdf](http://www.kowr.gov.pl/uploads/pliki/ozebiogaz/Rejestr_wytw%C3%B3rc%C3%B3w_biogazu_rolniczego_z_dnia_19.02.2019_r.pdf)  
(dostęp: 7.07.2019).

## Literatura

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r., Dz.U. L 140 z 5.6.2009.
- Gis W., Żółtowski A., Grzelak P. (2013), *Potencjał produkcji biogazu w Polsce*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, nr 1(92).
- GUS (2019), *Energia ze źródeł odnawialnych w 2018 r.*, Warszawa.
- GUS (2019), *Efektywność wykorzystania energii w latach 2007–2017*, Warszawa.
- Hardy T., Kordylewski W., Mościcki K. (2009), *Zagrożenie korozją chlorkową w wyniku spalania i współspalania biomasy w kotłach*, Archiwum Spalania, Polski Instytut Spalania, Warszawa.
- Informacja Prezesa URE nr 75/2017 z 18.10.2017 r. w sprawie realizacji zakazu wykorzystywania drewna innego niż drewno energetyczne, o którym mowa w art. 2 pkt 7a ustawy o odnawialnych źródłach energii do wytwarzania energii elektrycznej w instalacjach odnawialnego źródła energii wskazanych w ustawie. Urząd Regulacji Energetyki. Warszawa.
- Jarosz W., Marchwiński E. (1991), *Wpływ emisji z tras komunikacyjnych na skażenie gleb i żywności*, Materiały konferencyjne „Ekosystemy żywicielskie i żywność”, Warszawa.
- Kowalski M., *Zrównoważone rozwiązania w transporcie miejskim*, [http://www.ekosamorzadowiec.pl/pl/od\\_eko\\_samorzadu\\_do\\_eko\\_spoleczenstwa/artykuly\\_ekspercke/2045.html](http://www.ekosamorzadowiec.pl/pl/od_eko_samorzadu_do_eko_spoleczenstwa/artykuly_ekspercke/2045.html) (dostęp: 20.06.2019).
- Pielecha J., Markiesz-Guranowska A. (2014), *Emisja zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych a parametry ruchu drogowego*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz.U. z 2012 r. poz. 1229, z późn. zm.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008 w sprawie sposobu monitorowania wielkościami substancji objętych wspólnotowym systemem handlu uprawnieniami do emisji, Dz.U.2008.183.1142, z późn. zm.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisji z instalacji, Dz.U. z 2011 r. nr 95, poz. 558, z późn. zm.
- Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 r., Dz.U. 2015, poz. 478, z późn. zm.
- Ustawa o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw z dnia 7 czerwca 2018 r., Dz.U. 2018, poz. 1276.

# BIOPLASTIKI PRZYSZŁOŚCI – POLIMERY ZBUDOWANE Z HYDROKSYKWASÓW

## 11.1. Geneza biopolimerów

Znaczący wzrost gospodarczy, obserwowalny na całym świecie, powoduje coraz częstsze wykorzystywanie plastikowych materiałów, zarówno jednorazowych, jak i wielokrotnego użytku, w codziennym życiu człowieka. Potoczne określenie „plastik” oznacza tworzywa sztuczne, czyli polimery – długołańcuchowe cząsteczki składające się z wielokrotnie powtarzających się cząsteczek (merów) wraz z różnymi dodatkami, którymi mogą być związki ułatwiające ich przetwórstwo, barwniki, pigmenty, napelniacze bądź środki biocydowe (Marturano i in. 2017). Istotnym problemem związanym z użytkowaniem tworzyw sztucznych jest ich zdolność do biodegradacji (Tokiwa i in. 2009). Niestety, większość syntetycznych polimerów nie ulega tym procesom, np. polietylen (PE), polipropylen (PP), poli(tereftalan etylenu) (PET), poliuretany (PUR) oraz poliamidy (PA) (Tokiwa i in. 2009). Natomiast do biodegradowalnych syntetycznych polimerów należą: poli(kwas glikolowy) (PGA) oraz polikaprolakton (PCL) (Shastri 2005). Aby wyeliminować problem z ubożającą dostępnością złóż ropy naftowej, na całym świecie trwają szeroko zakrojone badania nad otrzymywaniem syntetycznych polimerów z wykorzystaniem zasobów środowiska naturalnego. W Dow Chemicals and Mitsui opracowano technologię przeróbki trzciny cukrowej do tzw. zielonego polietylenu (Bravo i in. 2015). Podobnie, istnieją poliamidy, które częściowo (PA 4.10, PA 6.10) bądź w 100% są otrzymywane z wykorzystaniem surowców pochodzenia naturalnego (PA 10.10). W przypadku poliamidów 4.10 oraz 6.10 amina jest uzyskiwana z surowców petrochemicznych, podczas gdy kwas sebacynowy – z kwasu rycynolowego otrzymanego z przeróbki oleju rycynowego (Biron 2015).

Akumulowanie się ogromnych ilości plastikowych śmieci na wysypiskach oraz brak ich zdolności do biodegradacji, jak również nierozważne zachowania

ludzi, którzy wyrzucają plastikowe opady zarówno do lasów, jak i do systemów wodnych, stanowi ogromny problem środowiskowy. Przy obecnych wskaźnikach zużycia szacuje się, że do 2050 r. produkcja polimerów osiągnie 33 biliardy ton (Blunt i in. 2018). Szacunki pokazują, że do 2015 r. wyprodukowano aż 6300 mln ton tworzyw sztucznych, spośród których tylko 9% poddano recyklingowi, 12% tworzyw zostało spalonych w celu pozyskania energii, a pozostałe 79% jest składowane na wysypiskach bądź zalega w środowisku (Geyer i in. 2017). Ostatnio w mediach bardzo często poruszany jest temat zanieczyszczenia oceanów przeróżnymi odpadami z tworzyw sztucznych, które przedostają się do nich najczęściej poprzez kanały przybrzeżne, rzeki, jak również są wynikiem działalności turystycznej człowieka. Szacunkowe badania mówią, że co roku do oceanów trafia ok. 1–2 mln ton plastików (Lebreton i in. 2017), które w ekspozycji na światło słoneczne oraz działanie fal morskich ulegają degradacji do cząstek o rozmiarach poniżej 5 mm (Smith i in. 2018). Z biegiem czasu powstałe cząstki polimerowe stają się ogniwem w łańcuchach pokarmowych, przez co przedostają się do produktów spożywczych, a ich obecność poważnie naraża na uszczerbek zdrowie ludzi (Lebreton i in. 2017, Smith i in. 2018). Ponadto poważnym zagrożeniem jest zdolność do penetracji powierzchni płuc przez mikrocząstki polimerowe o wielkości  $<10 \mu\text{m}$  (Blunt i in. 2018). Doskonałą alternatywą dla takich materiałów są polimery, które ulegają biodegradacji w naturalnym środowisku, a ponadto produkty ich rozkładu nie zagrażają zdrowiu ani ludzi, ani innych mieszkańców planety.

Biodegradowalne biopolimery z powodzeniem mogą zastąpić syntetyczne polimery, ponieważ mogą być akumulowane w odnawialnych zasobach środowiska naturalnego (celuloza, skrobia), wewnątrz żywych organizmów (chitozan, kolagen), jak też mogą być otrzymywane z wykorzystaniem procesów biotechnologicznych (polilaktyd, polihydroksyalkaniany), m.in. z wykorzystaniem organizmów modyfikowanych genetycznie. Ograniczeniem związanym z produkcją biopolimerów takich jak polihydroksyalkaniany są wysokie koszty wytwarzania tych materiałów. Całkowite koszty poniesione na otrzymanie tego polimeru są obecnie ok. 4 razy wyższe w porównaniu z syntezą tradycyjnych syntetycznych polimerów, a koszty samych surowców stanowią ponad 50% wszystkich kosztów (Wang i in. 2013, Johnston i in. 2018). Dla przykładu koszty polimerów na bazie ropy naftowej, polietylenu (PE) lub polipropylenu (PP) wynoszą 1,32–1,91 USD/kg, podczas gdy P(3HB) kosztuje 4,95–6,05 USD/kg (Johnston i in. 2018). Aby zmniejszyć koszty produkcji takich materiałów, na świecie poszukuje się tanich źródeł węgla pochodzenia odpadowego, którymi mogą być zarówno niewykorzystane zasoby środowiska naturalnego, jak i w odpowiedni sposób przekonwertowane odpady poprodukcyjne oraz użytkowe (Davis i in. 2013, Nikodinovic-Runic i in. 2013, Guzik



i in. 2014). Szacunkowe dane wskazują, że PHA mógłby zostać wyprodukowany kosztem 0,20–0,50 USD/kg z wykorzystaniem roślin transgenicznych, jeżeli poziom PHA stanowiłby 20–40% suchej masy, dzięki czemu polimery te mogłyby być konkurencyjne względem tradycyjnych syntetycznych polimerów (Reddy i in. 2003). Dane rynkowe opracowane przez European Bioplastics oraz Nova-Institute w 2018 r. wskazują, że światowe zdolności produkcyjne bioplastików mają wzrosnąć o 24% do 2023 r., a samego polilaktydu (PLA) o 60% (Bioplastics i Institute 2018).

Większość materii ożywionej zbudowana jest z wielkocząsteczkowych związków zwanych polimerami. Podstawowymi polimerami są oczywiście nośnik informacji genetycznej organizmów, tj. DNA (kwas 3-deoksyrybonukleinowy) oraz białka (Hung i in. 2012). Najszerszej rozpowszechnione biopolimery pozyskiwane są z organizmów eukariotycznych, tj. roślin (celuloza, lignina, skrobia) (Tanase i in. 2014). Popularnymi naturalnymi biopolimerami są również chitozan (Tanase i in. 2014) oraz kolagen (Yadav i in. 2015). Naturalne biopolimery towarzyszą człowiekowi od zarania dziejów. Stanowią one przede wszystkim źródło energii w postaci pokarmu, jednakże miały i nadal mają różnorodne codzienne zastosowania. Biopolimery występują również u organizmów prokariotycznych, najczęściej w postaci białek budujących komórki bądź uczestniczących w przeróżnych szlakach transportowych w komórkach. Pod koniec XIX w. i w I poł. XX w. powstały liczne raporty oraz patenty podsumowujące sposoby syntezy tradycyjnych syntetycznych polimerów. Swą działalność oparły na nich wielkie koncerny, które do tej pory wiodą prym w produkcji tworzyw polimerowych. W naturze jednak istnieją takie polimery, które mogą zastępować dotychczas stosowane polimery petrochemiczne. W niniejszym rozdziale zostaną przedstawione dwa z nich – polilaktydy oraz polihydroksyalkaniany.

Polilaktyd (PLA), jeden z popularniejszych biodegradowalnych poliestrów, został zsyntezowany po raz pierwszy przez twórcę poliamidu 6, czyli popularnego nylonu – W. Carothersa w 1932 r. Dalsze prace koncernu DuPont przyniosły syntezę polilaktydu o wysokiej masie cząsteczkowej, mianowicie w 1954 r. udało się pomyślnie zsyntezować PLA z wykorzystaniem kwasu mlekowego pozyskanego na skutek reakcji chemicznych, jak również procesów biotechnologicznych – w wyniku fermentacji cukrów pozyskanych z ryżu, kukurydzy itp. (Farah i in. 2016). Zaobserwowano, że fermentacja była procesem wysoce selektywnym, skutkującym otrzymaniem pożądanego stereoizomeru (L-kwasu mlekowego bądź D-kwasu mlekowego), dzięki czemu otrzymano finalną kompozycję polimeru. Jednakże wpływ składu kompozycji monomerowej na właściwości w polilaktydach odnotowano dopiero pod koniec lat 90. XX w. (Hamad i in. 2015).

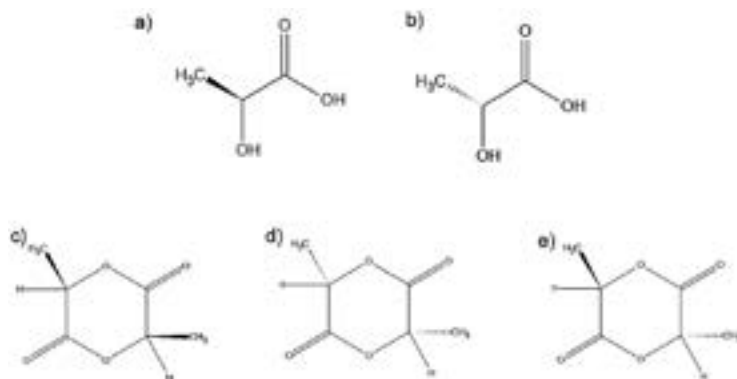
Występowanie polihydroksyalkanianów (PHA) w komórkach bakteryjnych mogło zostać po raz pierwszy opisane przez M. Beijerincka już w 1888 r., który określił ten materiał jako lipidy. W 1925 r. M. Lemoigne wykazał, że nieznanemu materiałowi akumulowanemu przez *Bacillus magaterium* był homopoliestrem kwasu-3-hydroksymasłowego. Jednakże dopiero pod koniec lat 50. XX w. opisano rolę, jaką ten magazynujący się związek spełnia w metabolizmie komórek bakteryjnych. Mianowicie, R.Y. Stanier i J.F. Wilkinson dowiedli, że granulki PHB [in. P(3HB)] w bakteriach służą jako wewnątrzkomórkowa rezerwa źródła węgla oraz energii. Określono również, że substancje te gromadzą się w odpowiedzi na ograniczenie składników odżywczych w środowisku (Chodak 2008). Obecność innych hydroksykwasów w komórkach bakteryjnych została potwierdzona w 1974 r., gdy L.L. Wallen i W.K. Rohwedder zidentyfikowali kopolimer 3-hydroksywalerianianu i 3-hydroksymaślanu [P(3HB-co-3HV)] w ekstraktach aktywowanego osadu ściekowego (Rohwedder 1973), natomiast wpływ zastosowanego substratu na kompozycję polimerową został określony po raz pierwszy przez M.J. De Smeta i współpracowników w hodowli *Pseudomonas oleovorans* na n-oktanie. Dowiedziono, że utworzony polimer składa się głównie z jednostek 3-hydroksyoktanowych [P(3HO)]. Był to pierwszy przypadek opisanego akumulacji innych jednostek kwasu niż kwas 3-hydroksymasłowy (de Smet i in. 1983). W latach 80. XX w. zaczęto prace nad identyfikacją innych potencjalnych jednostek HA, zidentyfikowano istnienie nie tylko jednostek 3-hydroksyloowanych (3HA), ale również 4- (4HA) oraz 5-hydroksyloowanych (5HA) w łańcuchach polimerów (Mohan Rasu i Arun 2017). W latach 90. XX w. zespół K. Fritzschego przedstawił dane dotyczące produkcji aromatycznego poli(3-hydroksy-5-fenyłowalerianianu) [P(3H5PhV)] z kwasu 5-fenyłowalerianowego (5PhV) przez *Pseudomonas oleovorans* (Fritzsche i in. 1990). Liczba odkrytych składników PHA wzrosła ogromnie wraz z ekstrakcją PHA z drobnoustrojów wyizolowanych z osadów morskich, które oprócz P(3HB) oraz P(3HV) zawierały co najmniej 11 innych kwasów hydroksyalkanolowych (Chodak 2008, Mohan Rasu i Arun 2017). W danych literaturowych przedstawiono już ponad 150 różnych cząsteczek, które mogą wchodzić w skład łańcucha polihydroksyalkanianowego (PHA), jak również wykazano, że jedną z takich cząsteczek może być również kwas mlekowy (Steinbuechel i Valentin 1995).

## 11.2. Podział PLA i PHA pod względem budowy chemicznej

### Polilaktydy

Poli(kwas mlekowy) (PLA) jest biodegradowalnym, alifatycznym poliestrem, którego monomer – kwas mlekowy – może być wytwarzany z odnawialnych zasobów środowiska naturalnego (tj. kukurydza, ziemniaki, trzcina cukrowa), jak również z pokonsumpcyjnych, odpadowych materiałów. Niewątpliwie odgrywa on kluczową rolę w zastępowaniu polimerów konwencjonalnych, opartych na paliwach kopalnych (Castillo Martinez i in. 2013). PLA o wysokiej masie cząsteczkowej jest otrzymywany głównie poprzez polikondensację bądź polimeryzację z otwarciem pierścienia laktydu (John i in. 2007). Niewątpliwą zaletą PLA jest jego cena, jak również fakt, że jego właściwości aplikacyjne można zmieniać w zależności od struktur i zawartości monomerów w kopoliestrach (Chen 2010).

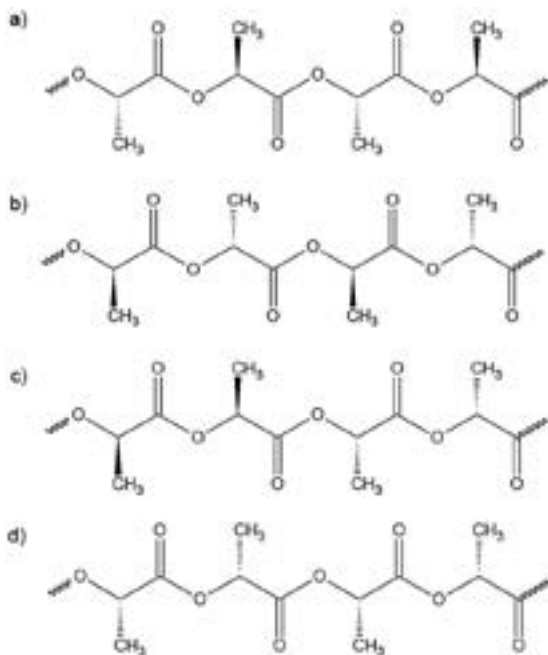
**Rysunek 11.1.** Budowa monomerów PLA, gdzie: a) kwas (R)-mlekowy/kwas D-(-)-mlekowy, b) kwas (S)-mlekowy/kwas L-(+)-mlekowy, c) (D,D)-laktyd; d) (S,S)-laktyd; e) mezo-laktyd



Każda cząsteczka kwasu mlekowego ma w swojej budowie jeden asymetryczny atom węgla, przez co istnieją dwie optycznie czynne formy kwasu mlekowego, takie jak kwas L-mlekowy i kwas D-mlekowy. W związku z tym w laktydzie – cyklicznym diesterze kwasu mlekowego występują trzy formy izomeryczne w zależności od tego, z jakich jednostek kwasów są one zbudowane (L)-laktyd, (D)-laktyd oraz mezo-laktyd (rys. 11.1). Dodatkowo, równomolowe stopienie dwóch laktydów: L- i D-laktydu skutkuje pozyskaniem mieszaniny racemicznej – rac-laktyd (Niaounakis 2014). W związku z powyższym istnieją 4 stereoisomery polilaktydu (rys. 11.2):

- 1) izotaktyczny PLA, który powstaje z (D)-laktydu bądź (L)-laktydu, w których następne atomy węgla w łańcuchu polimerowym mają identyczną konfigurację,
- 2) izotaktyczny stereoblokowy PLA, który jest podobny do izotaktycznego PLA, jednakże różni się budową jego łańcucha. Mianowicie jest on zbudowany z rac-laktydu, a nie (L)- bądź (D)-laktydu,
- 3) syndiotaktyczny PLA, który ma naprzemienną konfigurację stereocentrów,
- 4) taktyczny PLA, który charakteryzuje się losowym rozkładem konfiguracji wokół stereocentrów.

**Rysunek 11.2.** Stereoizomery PLA, gdzie: a) izotaktyczny PLLA, b) izotaktyczny PDLA, c) heterotaktyczny PDLLA, d) syndiotaktyczny PDLLA



Źródło: (Niaounakis 2014).

Polilaktyd jest przezroczystym, bezbarwnym polimerem termoplastycznym. Właściwości mechaniczne, reologiczne PLA, jak również charakterystyczne temperatury przejść fazowych oraz stopień krystaliczności, a co z tym idzie – gęstość oraz pojemność cieplna zależą od składu enancjomerycznego, temperatury jego przetworstwa („okna przetwórczego”) oraz jego masy cząsteczkowej (tabela 11.1) (Niaounakis 2014, Castro-Aguirre i in. 2016, Inkinen i in. 2011).

**Tabela 11.1.** Właściwości termiczne i mechaniczne popularnych oraz przedstawionych w rozdziale polimerów

Polimer	Skrót	Temperatura zeszklenia $T_g$ (°C)	Temperatura topnienia $T_m$ (°C)	Moduł Young'a (MPa)	Wydłużenie przy zerwaniu (%)	Wytrzymałość na rozciąganie (MPa)
Polietylen niskiej gęstości	LDPE	-100	98÷115	300÷500	100÷1000	9÷15
Polistyren	PS	70÷115	100	2300÷3300	120÷250	34÷50
Poli-(D,L)-laktyd	PLA	65÷72	220÷330	8600	30	880
Poli-(L)-laktyd	PLLA	50÷65	170÷190	7000÷10000	12÷26	120÷2300
Poli-(D)-laktyd	PDLA	50÷60	-	1500÷1900	5÷10	40÷50
Poli-(3)-hydroksymasłan	P(3HB)	0	140÷180	3500	5÷8	25 ÷ 40
Poli-(3)-hydroksyoktanian	P(3HO)	-35	53	12.6-25.4	3÷25	18÷24
Kopolimer kwasu 3-hydroksymasłowego i 3-hydroksywalerianowego	P(3HB-co-3HV)	0÷30	100÷190	600÷1000	7÷15	25÷30
Poli(tereftalan etylenu)	PET	69÷115	265	1700÷2700	180	50
Polikaprolakton	PCL	-69	59÷64	390÷470	700÷1000	4÷28
Polipropylen	PP	-15	171÷186	690÷1500	40	39

Źródło: Basu i in. 2017, Jamshidian i in. 2010, Tsujji 2005, Sofinska i in. 2019, Nandy i in. 2014.

Polilaktydy z zawartością L-(+)-LA wyższą niż 93% są krystaliczne, podczas gdy polimer zawierający większą ilość D-(-)-LA bądź otrzymywany z mezo-laktydu jest amorficzny, ponieważ nie ma zdolności do regularnego uporządkowania łańcucha polimeru. Polimer z większą zawartością D-(-)-LA charakteryzuje się pogorszoną stabilnością termiczną, dzięki czemu ulega łatwiejszej obróbce termicznej oraz dodatkowo może ulegać polepszonej biodegradacji (Niaounakis 2014, Castro-Aguirre i in. 2016, Inkinen i in. 2011). Wraz ze wzrostem masy cząsteczkowej wzrasta temperatura zeszklenia, topnienia, wytrzymałość na rozciąganie, jak również moduł sprężystości, a pogorszeniu ulega m.in. zdolność wydłużenia przy zerwaniu. W związku z tym PLA, który zawiera dużą ilość PLLA w łańcuchu polimeru charakteryzującego się stosunkowo wysoką masą cząsteczkową, posiada temperatury charakterystycznych przejść fazowych ( $T_m$  oraz  $T_g$ ), których wartości zmniejszają się wraz ze wzrostem zawartości PDLA w łańcuchu (Niaounakis 2014, Madhavan Nampoothiri i in. 2010, Savioli Lopes i in. 2012). Polimery o regularnej strukturze, tj. PLLA, charakteryzują się również zwiększoną wytrzymałością mechaniczną. Jednakże, jeśli orientacja jest przeprowadzana w niskiej temperaturze, uzyskany PLLA ma zwiększoną wytrzymałość bez znaczącego wzrostu stopnia krystaliczności. Dodatkowo regularna struktura PLLA determinuje jego silne właściwości piezoelektryczne (Garlotta 2001). Ataktyczny PLA, otrzymany z mezo-laktydu, charakteryzuje się brakiem krystalitów, przez co nie ma on temperatury topnienia, a temperatura zeszklenia mieści się w przedziale  $50\div 55^\circ\text{C}$ , przez co wykazuje niższą wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu z PLLA. Dodatkowo, gdy ataktyczny PLA zostanie otrzymany z mieszaniny rac-laktydu, uzyska temperaturę zeszklenia zbliżoną do temperatury pokojowej. Ze względu na swoją budowę, tzn. obecność metylowej grupy bocznej, materiał ma właściwości hydrofobowe (Niaounakis 2014), co determinuje jego rozpuszczalność w większości rozpuszczalników organicznych, tj. chlorowanych węglowodorach, np. chloroformie, dichlorometanie, kwasie dichlorooctowym (Niaounakis 2014, Auras i in. 2004). Wysokokrystaliczny PLLA nie rozpuszcza się w popularnych rozpuszczalnikach, tj. acetonie oraz octanie etylu. W przypadku PLA, składających się zarówno z D-, jak i z L-laktydu, rozpuszczalniki te są w stanie w temperaturze pokojowej częściowo naruszyć strukturę polimeru, wnikając w jego strukturę, jednakże rozpuszczalność materiałów możliwa jest dopiero po podgrzaniu rozpuszczalników (Auras i in. 2004). PLA znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle opakowaniowym, w którym ważnym parametrem są właściwości barierowe. Porównując właściwości barierowe PLA z innymi konwencjonalnymi polimerami, odnotowano, że właściwości te są zbliżone do właściwości barierowych polistyrenu (PS), jednakże niższe od właściwości barierowych poli(tereftalanu etylenu) (PET), jak również wyższe od poliolefin, takich jak polipropylen (PP)

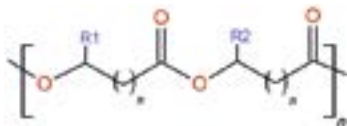
oraz polietylen (PE). Wykazano również, że krystaliczność PLA ma niebagatelny wpływ na współczynniki przepuszczalności gazów, tj.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$ , mianowicie wraz ze wzrostem stopnia krystaliczności właściwości barierowe tych polimerów wzrastają (Hamad i in. 2015). Dodatkowo niewątpliwą wadą tego materiału jest jego słaba udurowienie (Castro-Aguirre i in. 2016). W związku z tym polimer ten miesza się z innymi polimerami – biodegradowalnymi bądź niebiodegradowalnymi, jak również z różnymi napelniającami oraz nanocząstkami (Nofar i in. 2019, Basu i in. 2017). Operacje te pozwalają na otrzymanie materiałów o nowych właściwościach, które są doskonałą alternatywą dla homologicznych mieszanin polimerów i znajdują zastosowanie w tradycyjnych gałęziach, jak również zapełniają istniejące jeszcze nisze zastosowań. Materiał ten jest przetwarzany w wielu zakładach produkcyjnych metodami wtrysku, wytłaczania zarówno folii, arkuszy, jak i z rozdmuchem, spieniania czy termoformowania (Jamshidian i in. 2010). Temperatura przetworstwa zależy od lepkości stopu, która z kolei zależy od średniej masy cząsteczkowej, stosunku L(+)-LA-/D(-)-LA, ilości plastyfikatora, szybkości ścinania, zastosowanej techniki przetwórczej oraz ilości energii wprowadzonej do polimeru (Auras i in. 2004).

### Polihydroksyalkaniany

Polihydroksyalkaniany należą do grupy biodegradowalnych, aktywnych optycznie poliestrów, które mogą być gromadzone przez bakterie w nie zrównoważonych warunkach ich wzrostu, gdy ograniczone zostają składniki odżywcze, takie jak związki azotu, fosforu, siarki, tlenu bądź magnezu (Muhammadi i in. 2015, Raza i in. 2018, Raza i in. 2017). Materiały te akumulowane są w postaci wewnątrzkomórkowych hydrofobowych granulek, które zazwyczaj mają średnicę od 0,2 do 0,7 mm i składają się w 97,7% z PHA, 1,8% z białek oraz 0,5% lipidów (Koller i in. 2010). Do chwili obecnej zidentyfikowano ponad 100 mikroorganizmów, które są zdolne do syntezy tych polimerów. Dodatkowo, dzięki zastosowaniu różnych substratów węglowych, warunków hodowli i starannej selekcji gatunków bakterii, zidentyfikowano wiele monomerów PHA, co czyni je największą grupą naturalnych poliestrów (Steinbuechel i Valentin 1995). Wiadomo, że ok. 150 różnych kwasów hydroksyalkanowych występuje jako składniki PHA (Babu i in. 2013), a liczba ta stale rośnie wraz z przeróżnymi modyfikacjami, zarówno chemicznymi, jak i fizycznymi, monomerów PHA, jak również dzięki modyfikacjom genetycznym mikroorganizmów (Tan i in. 2014). We wszystkich scharakteryzowanych dotychczas PHA hydroksylowany atom węgla ma konfigurację R ze względu na stereospecyficzność enzymów biosyntezujących PHA, tj. dehydrogenazy 3-hydroksyacylo-CoA, (R)-specyficznej hydratazy enoilo-CoA i 3-hydroksyacylo-ACP:CoA transferazy. Jednakże

z uwagi na centrum chiralne (*R*) w szkielecie, chemiczna synteza PHA jest trudna (Lee i in. 1999). Polihydroksymaślan (P(3HB)) może być syntezowany na drodze polimeryzacji z otwarciem pierścienia  $\beta$ -butyrolaktonu, katalizowanej przez sole anionowe, bądź w obecności enzymów, która skutkuje otrzymaniem materiału o różnej taktyczności (Jedliński i in. 1999, Rydz 2015). Polihydroksyalkaniany to głównie liniowe poliestry składające się z (*R*)-3-hydroksykwasów, w których wiązanie estrowe powstaje pomiędzy grupą karboksylową jednego monomeru i grupą hydroksylową sąsiadującego monomeru (Raza i in. 2018). W przeważającej większości cząsteczek merów budujących łańcuch PHA podstawnik R zlokalizowany jest przy trzecim atomie węgla  $\beta$  cząsteczki. Jednakże istnieją również polimery, których podstawnik R znajduje się w 4. oraz 5. pozycji łańcucha węglowego, takie jak np. P(4HB), P(5HB) (Mohan Rasu i Arun 2017, Lu i in. 2009). Ogólny wzór polihydroksyalkanianów (PHA) przedstawiono na rysunku 11.3.

**Rysunek 11.3.** Struktura chemiczna PHA. W przypadku gdy R1 oraz R2 są grupą metylenową ( $\text{CH}_2$ ), a  $n=1$  – [P(3HB)],  $n=2$  – [P(4HB)],  $n=3$  – [P(5HB)]



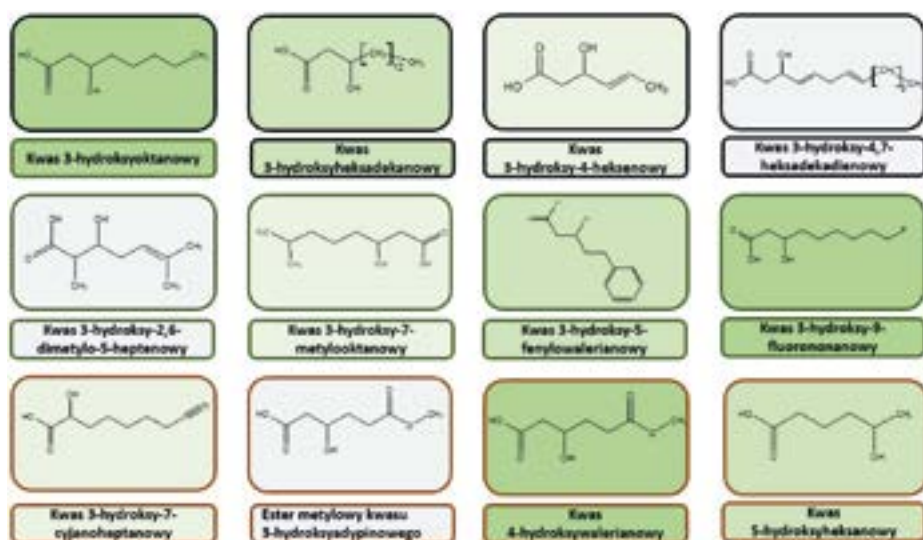
Jak już wspomniano, istnieje duża liczba jednostek monomerycznych mogących wchodzić w skład łańcucha PHA, dzięki czemu alkiłowy łańcuch boczny będący podstawnikiem przy węglu  $\beta$  niekoniecznie musi być nasycony, a także może zawierać w swojej budowie ugrupowania halogenowane, epoksydowane, fenyłowe, rozgałęzione olefinowe, estrowe oraz hydroksylowe (Steinbuchel i Valentin 1995, Muhammadi i in. 2015, Raza i in. 2017, Lu i in. 2009). Na rysunku 11.4 przedstawiono wybrane jednostki monomeryczne wchodzące w skład polihydroksyalkanianów (PHA).

Polihydroksyalkaniany można podzielić na kilka różnych kategorii według zastosowanego kryterium. W zależności od długości łańcucha wyróżnia się krótkołańcuchowe PHA (scl-PHA) (3–5 atomów węgla w cząsteczce monomeru), średniołańcuchowe PHA (mcl-PHA) (6–14 atomów węgla), długołańcuchowe PHA (lcl-PHA) (>15 atomów węgla), jak również mieszane kopolimery scl-PHA oraz mcl-PHA. Do grupy krótkołańcuchowych PHA (scl-PHA) należą: poli(3-hydroksymaślan) [P(3HB)], poli(3-hydroksywalerian) [P(3HV)] oraz ich kopolimer poli(3-hydroksymaślan-co-3-hydroksywalerian) [P(3HB-co-3HV)]. Przedstawicielami drugiej grupy (mcl-PHA) są



poli(3-hydroksyoktanian) [P(3HO)] oraz poli(3-hydroksynonanian) [P(3HN)], które zazwyczaj zawierają w swoim składzie niewielką ilość innych mcl-PHA, takich jak 3-hydroksyheksanian (3HHx), 3-hydroksyheptanian (3HH) oraz 3-hydroksydekanian (3HD). Do grupy mieszanych kopolimerów scl-PHA oraz mcl-PHA należy kopolimer (R)-3-hydroksymaślanu i (R)-3-hydroksyheksanian [P(3HB-co-3HHx)] (Sofińska i in. 2019, Muhammadi i in. 2015, Raza i in. 2018, Raza i in. 2017, Koller i in. 2010, Lu i in. 2003, Kim do i in. 2007, Ali i Jamil 2016).

**Rysunek 11.4.** Struktury wybranych jednostek monomeru polihydroalkanianu (PHA)



Źródło: Lu i in. 2009.

Właściwości chemiczne i fizyczne polihydroksyalkanianów, tj. sztywność, elastyczność, odporność na rozpuszczalniki organiczne, są determinowane przez finalny skład kompozycji monomerowej łańcucha, jak również przez masę cząsteczkową polimeru i temperatury jego charakterystycznych przejść fazowych, tj. temperaturę zeszklenia ( $T_g$ ) oraz temperaturę topnienia ( $T_m$ ). Ponadto wyżej wymienione czynniki, obecność dodatków oraz mikrostruktura mogą obok czynników środowiskowych mieć wpływ na szybkość procesu biodegradacji PHA, co jest istotnym parametrem ze względu na szeroko występujące problemy środowiskowe związane z brakiem biodegradowalności konwencjonalnych ropopochodnych polimerów (Muhammadi i in. 2015, Raza i in. 2017, Shah i in. 2008, Abe i Doi 1999, Jain i in. 2010).

Najlepiej poznanym przedstawicielem grupy polihydroksyalkanianów jest poli-3-hydroksymasłan [P(3HB)], który jest krystalicznym, sztywnym, jak również kruchym polimerem, przez co nie jest odporny na stres mechaniczny. Podczas chłodzenia ze stopu w jego strukturze powstają duże domeny krystaliczne w postaci sferolitów, co tłumaczy jego kruchość. Odpowiedni dobór warunków przetwarzania pozwala na zmniejszenie kruchości materiału, umożliwiając produkcję folii polimerowych mających zdolność do ciągnięcia (Marchessault i Yu 2005). Stopień krystaliczności P(3HB) pozostawionego do krystalizacji przez kilka tygodni w temperaturze powyżej temperatury zeszklenia ( $0^{\circ}\text{C}$ ) mieści się w zakresie 60–90% (Holmes 1998). Folie wykonane z P(3HB) charakteryzują się mniejszą odpornością na wilgoć w porównaniu z foliami wykonanymi z kopolimeru kwasu 3-hydroksymasłowego oraz 3-hydroksywalerianowego [P(3HB-co-3HV)]. Ze względu na fakt, że przyrost masy próbek narażonych na kontakt z wodą wynosił poniżej 2%, polimery PHA mają niepolarny charakter – są hydrofobowe (Follain i in. 2014). Ponadto folie P(3HB) charakteryzują się doskonałymi właściwościami barierowymi względem  $\text{CO}_2$ , które są pięciokrotnie wyższe niż dla PET (Marchessault i Yu 2005). Potwierdzają to badania przeprowadzone przez N. Follaina i jego współpracowników, którzy donieśli, że zarówno folie wykonane z P(3HB), jak i z P(3HB-co-3HV) charakteryzują się lepszymi właściwościami barierowymi w porównaniu z innymi niepolarnymi foliami (Follain i in. 2014). Dodatek do P(3HB) innego polimeru z grupy scl-PHA – kwasu 3-hydroksywalerianowego [P(3HB-co-3HV)] polepsza właściwości mechaniczne polimeru. Jest to spowodowane istnieniem zjawiska *liquid phase separation*, obserwowanym w pewnych warunkach składu mieszaniny komonomerów (co najmniej 8% mol. HV), jak też temperatury. Próbkę krystalizowaną z dwufazowego stopu mogą charakteryzować się lepszą odpornością na rozciąganie niż mieszaniny polimerów krystalizowane ze stopu (Barham i Organ 1994). Dodatkowo wykazano, że obecność jednostek kwasu 3-hydroksywalerianowego w łańcuchu polimeru ma znaczący wpływ na kinetykę krystalizacji materiału, w tym szybkość procesu i wielkość uzyskanych sferolitów. W przypadku gdy polimer zawiera mniej niż 35–40% mol. 3HV, krystalizuje on w sieciach charakterystycznych dla P(3HB), natomiast jeżeli zawartość 3HV przekracza 40% mol., krystalizuje on w sieci charakterystycznej dla P(3HV). Ma to wpływ na stopień krystaliczności. Mianowicie stopień krystaliczności nie ulega dużej zmianie, przy niewielkim udziale mol. jednostek 3HV (Volovala i in. 2013). Kopolimery scl-PHA oraz mcl-PHA, takie jak kopolimer kwasów 3-hydroksymasłowego oraz 3-hydrokseyheptanowego [P(3HB-co-3HHx)], są mniej sztywne i kruche od P(3HB), co tłumaczy się dodatkiem mobilnych segmentów pochodzących od elastycznego P(3HHx), przez co mają właściwości mechaniczne zbliżone do konwencjonalnych polimerów, tj. polipropylenu

(PP), polistyrenu (PS), poli(tereftalanu etylenu) (PET), jak również polietyleno wysokiej gęstości (HDPE) (tabela 11.1) (Muhammadi i in. 2005). Wraz ze wzrostem 3HHx w przedziale 2,5–18,0% mol. stopień krystaliczności maleje od 74% do 57% (Volova i in. 2013).

Ciekawym przykładem kopolimeru jest kopolimer zbudowany z jednostek kwasu 3-hydroksymasłowego oraz 4-hydroksymasłowego P(3HB-co-4HB), ponieważ P(4HB) jest materiałem gumopodobnym, dla którego wydłużenie przy zerwaniu wynosi do 1000%. W tym przypadku jeżeli zawartość P(3HB) wynosiła do 29% mol., krystalizował on w sieci charakterystycznej dla P(3HB). Zaobserwowano spadek stopnia krystaliczności nawet do 12% (Volova i in. 2013). PHA o średniej długości łańcucha (mcl-PHA), ze względu na niski stopień krystaliczności (dla P(3HO): 30÷37,5%), niskie temperatury topnienia i zeszklenia, należą do grupy elastomerów, dzięki czemu charakteryzują się dobrym wydłużeniem przy rozciąganiu oraz wysokim modułem Younga (Rai i in. 2011). Masa cząsteczkowa, będąca jednym z najważniejszych parametrów charakteryzujących polimery, w przypadku polihydroksyalcanianów zależy zarówno od użytego mikroorganizmu, zastosowanego źródła węgla, warunków hodowli, jak również metody pomiarowej. W danych literaturowych obserwowany jest duży rozrzut związany z uzyskanymi masami cząsteczkowymi PHA, wynosi on nawet dwa rzędy wielkości. Maksymalną wartość liczbowo średniej masy cząsteczkowej odnotowano dla *Ralstonia eutropha*  $\sim 1580 \times 10^3$ , natomiast najmniejszą dla *Comamonas acidovorans*  $\sim 58 \times 10^3$  (Volova i in. 2013).

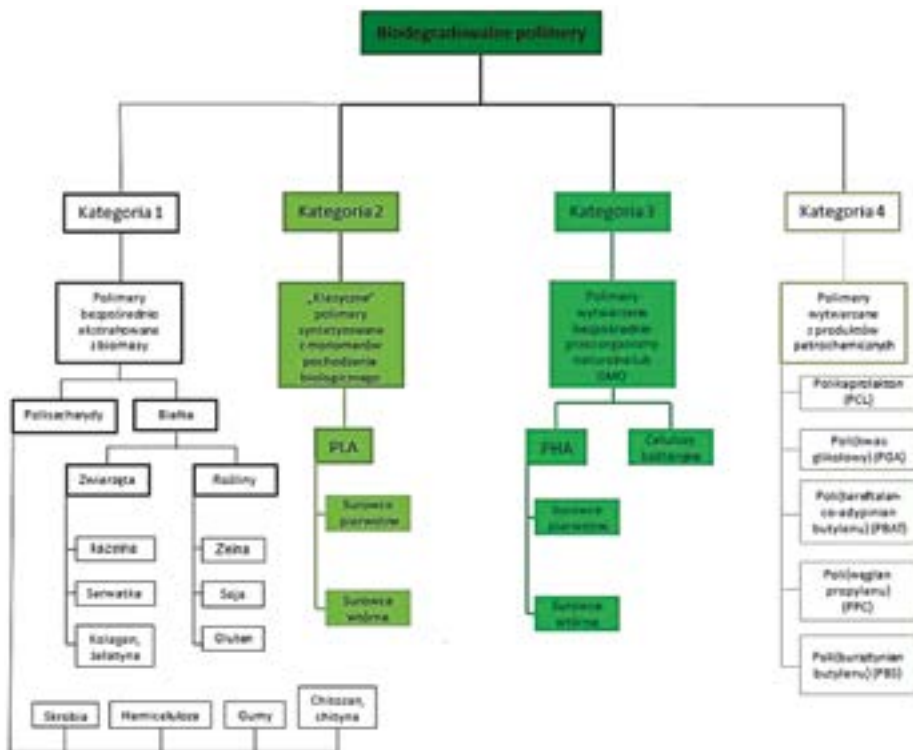
### 11.3. Substraty do produkcji PLA i PHA

Opisywane biopolimery są ważną alternatywą dla tworzyw sztucznych, zwłaszcza opartych na bazie ropy naftowej, ze względu na przyjazne dla środowiska procesy produkcyjne, ich biokompatybilność i biodegradowalność. Te dwie cechy nie zależą od pochodzenia surowców, z których powstają biopolimery, a wyłącznie od ich finalnego składu chemicznego, zatem biodegradowalne polimery można wytwarzać zarówno z surowców odnawialnych, jak i petrochemicznych. W celu usystematyzowania różnych rodzajów biopolimerów zaproponowano ich podział na 4 kategorie w zależności od ich pochodzenia oraz sposobu produkcji (rys. 11.5) (Pantani i Turng 2015):

- 1) otrzymywane bezpośrednio z biomasy poprzez ekstrakcję (np. skrobia, celuloza oraz chityna),
- 2) wytwarzane przez klasyczną syntezę chemiczną z monomerów produkowanych przez biomasę (np. polilaktyd (PLA) lub biopolietylen (bioPE)),

- 3) wytwarzane przez naturalne organizmy lub organizmy wcześniej poddane modyfikacjom genetycznym (np. polihydroksyalkaniany (PHA)),
- 4) wytwarzane z produktów petrochemicznych, ale ulegające rozkładowi w środowisku lub nadające się do kompostowania (np. poli(tereftalan-co-adypinian butylenu) (PBAT) lub polikaprolaktonu (PCL)).

**Rysunek 11.5.** Podział polimerów na kategorie pod względem ich pochodzenia



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Coelho i in. 2015.

### (1) Polilaktyd

Poli(kwas mlekowy) jest jednym z najbardziej obiecujących biodegradowalnych polimerów, przez co stanowi zrównoważoną alternatywę dla polimerów pochodzenia petrochemicznego. Syntetyzowany jest on bowiem z kwasu mlekowego, który może być produkowany na masową skalę w wyniku fermentacji mikrobiologicznej produktów ubocznych pochodzenia rolniczego oraz przemysłowego, bogatych w węglowodany (John i in. 2006). Kwas mlekowy, czyli kwas 2-hydroksypropionowy, jest prekursorem do syntezy polilaktydu. Jednym

ze sposobów otrzymywania kwasu mlekowego jest fermentacja bakteryjna różnorodnych surowców, które można podzielić na te pochodzenia pierwotnego lub wtórnego, czyli różnego rodzaju odpady. Szacuje się, że do 2020 r. nastąpi znaczny wzrost produkcji kwasu mlekowego jako niezbędnego prekursora PLA, która będzie wynosić ponad mln ton rocznie (Jem i in. 2010).

Głównymi mikrobiologicznymi producentami kwasu mlekowego są bakterie kwasu mlekowego i niektóre grzyby nitkowate (Litchfield 1996). Ze względu na charakter fermentacji, a konkretnie – na rodzaj zsyntetyzowanych produktów końcowych, bakterie te można podzielić na dwie grupy: homofermentacyjne oraz heterofermentacyjne. W wyniku fermentacji homofermentacyjnych bakterii mlekowych otrzymuje się zasadniczo pojedynczy produkt, a mianowicie pożądaną kwas mlekowy. W przypadku bakterii drugiej grupy do produktów, oprócz kwasu mlekowego, należą także etanol, diacetyl, mrówczan, acetoina, kwas octowy lub dwutlenek węgla (John i in. 2007). Żadne bakterie kwasu mlekowego nie mają natomiast zdolności do produkcji witamin z grupy B oraz niezbędnych aminokwasów, stąd niezbędnym etapem poprzedzającym fermentację jest suplementacja pożywek tymi związkami (Pietraszek i in. 2014). Mikroorganizmy zdolne do produkcji kwasu mlekowego w warunkach beztlenowych wykorzystują w tym celu końcowy produkt glikolizy – kwas pirogronowy. Konwersja pirogronianu do mleczanu odbywa się przy udziale dehydrogenazy L- lub D-mleczanowej (John i in. 2007). To właśnie od tych enzymów i dodatkowo od aktywności racemazy mleczanowej zależy stereokonformacja finalna produktu fermentacji mlekowej (Pietraszek i in. 2014).

### **Surowce pierwotne**

Substraty pierwotne do produkcji kwasu mlekowego, zwłaszcza na skalę przemysłową, charakteryzuje niska cena, łatwość dostępu, a także mała skala zanieczyszczeń, jakie generuje ich przetwarzanie. Oceniana jest również szybkość procesu, dlatego bardzo ważne jest, by obróbka wstępna surowca, jakim jest hydroliza zawartych w nim źródeł węgla, była jak najprostsza i nie generowała zbyt wysokich kosztów.

Do substratów pierwotnych, a tym samym najczęściej używanych do produkcji kwasu mlekowego, zalicza się bogate w skrobie biomasy roślinne, w tym przede wszystkim ziemniaki, zboża, takie jak: kukurydza, pszenica, jęczmień, żyto, ale także ryż oraz maniok (Oh i in. 2005). Reprezentatywne procesy wykorzystujące wymienione substraty zebrano w tabeli 11.2. W zależności od wybranej metody fermentacji surowce te poddawane są tradycyjnej hydrolizie termicznej i enzymatycznej w celu uzyskania cukrów prostych, a dopiero później fermentacji mlekowej, albo trafiają bezpośrednio do reaktora z pominięciem scukrzania skrobi do glukozy. Takie podejście, określane jako metoda SSF

(*simultaneous saccharification and fermentation*), opiera się na jednoczesnym rozkładzie skrobi przez glukoamylazy oraz fermentacji. Jeśli proces przebiega przy udziale bakterii mlekowych, niezbędne jest dodanie do reakcji enzymów amylolytycznych (Tsao i in. 1999). Istnieje również alternatywne podejście omijające konieczność dodatku enzymów, a mianowicie fermentacja mlekowa z wykorzystaniem grzybów strzępkowych, takich jak *Rhizopus*, które mają zdolność do hydrolizy skrobi zawartej w substratach oraz fermentacji mlekowej z wyprodukowanej glukozy (Huang i in. 2003).

**Tabela 11.2.** Wybrane surowce pierwotne do biosyntezy kwasu mlekowego

Bakterie produkujące kwas mlekowy	Rodzaj surowca	Obróbka wstępna	Typ kwasu mlekowego	Produktywność wolumetryczna [g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
<i>Streptococcus bovis</i> 148	Kukurydza	Hydroliza: α-amylaza	Kwas L-mlekowy	0.147
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Proszek z manioku	Scukrzanie	Kwas L-mlekowy	7.308
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> i <i>Sporolactobacillus inulinus</i>	Ryż brązowy	Hydroliza enzymatyczna: α-amylaza, β-amylaz i pululanaza	Kwas D-mlekowy	0.626
<i>Rhizopus oryzae</i> NRRL 395	Pulpa ziemniaczana	–	Kwas L-mlekowy	10 mg g <sup>-1</sup>
<i>Lactococcus lactis</i> ssp. <i>lactis</i> ATCC 19435	Mąka pszenna z otrębami	Hydroliza: mieszanina amylaz	Kwas L-mlekowy	3.3

Źródło: Narita i in. 2004, Wang i in. 2010, Fukushima i in. 2004, Oda i in. 2002, Hofvendahl i Hahn-hligerdal 1997.

Najchętniej stosowanym substratem bogatym w skrobię są ziemniaki oraz ich soki z uwagi na ich skład, który oprócz węglowodanów zawiera również niezbędne bakteriom fermentującym białka, tłuszcze, witaminy, minerały i pierwiastki śladowe. To sprawia, że biomasa ziemniaczana stanowi kompletną pożywkę gotową do użycia w procesach mikrobiologicznych (Tsao i in. 1999). Większość innych surowców skrobiowych wymaga suplementacji (Pietraszek i in. 2014).

Innym często wykorzystywanym substratem w procesie fermentacji mlekowej jest pszenica. Podobnie jak ziemniak, oprócz skrobi, jest ona złożona również z tłuszczów, błonnika, soli mineralnych, a także białek. Bakterie fermentacji mlekowej nie są zdolne do wykorzystania glutenu, będącego głównym białkiem

pszenicy, stąd niezbędna jest w tym przypadku jego proteoliza w procesie poprzedzającym hydrolizę lub suplementacja medium ekstraktem drożdżowym, namokiem kukurydzianym lub inną bogato odżywczą mieszaniną (Pietraszek i in. 2014, Hetenyi i in. 2008).

### Surowce wtórne

Na świecie każdego roku produkowane jest ok. 3,5 mld ton odpadów rolnych, bogatych w węglowodany (John i in. 2007). Są to surowce charakteryzujące się dużą zawartością lignocelulozy, która może zostać wykorzystana do produkcji kwasu mlekowego – prekursora PLA. Do tej grupy odpadów zalicza się słomę pochodzącą ze zbóż, liście i łodygi kukurydziane, otręby ryżowe, pozostałości leśne, łuski nasion bawełny, topinambur, kolby kukurydzy albo otręby zbożowe (John i in. 2007). Dodatkowo wszystkie odpady pochodzące z przemysłu spożywczego zawierające cukry mogą być potencjalnymi substratami do produkcji kwasu mlekowego na drodze fermentacji. Do takich materiałów należą m.in. serwatka, melasa, wyłoczek z trzciny cukrowej (bagassa), odpady skrobiowe z ziemniaków, tapioki, kukurydza i wiele innych.

Obecnie wytwarzanie kwasu mlekowego z wykorzystaniem fermentacji mikrobiologicznej stanowi 90% udziału w produkcji światowej (Wang i in. 2010). Surowce wtórne różnego pochodzenia ze względu na swoją złożoność podlegają wcześniej różnym procesom, mającym na celu ich rozkład do prostszych substancji, łatwiej fermentowanych przez bakterie. Odpady bogate w skrobię nie mogą być wykorzystywane przez typowe bakterie kwasu mlekowego (z wyjątkiem *Lactobacillus amylophilus* i *L. amylovorus*), dlatego etapem poprzedzającym fermentację jest jej hydroliza, którą można przeprowadzić metodami chemicznymi lub enzymatycznymi. Głównym produktem tego procesu jest maltoza. Upłynnienie i scukrzenie skrobi to procesy, w których używane są bakteryjne  $\alpha$ -amylazy oraz glukoamylazy pochodzenia grzybowego (Vaidya i in. 2013). Odpady z przemysłu cukierniczego, zawierające sacharozę są substratami również odpowiednimi do fermentacji, w wyniku której otrzymuje się kwas mlekowy. Większość znanych organizmów homofermentacyjnych, a zwłaszcza z rodzaju *Lactobacillus*, może wydajnie fermentować ten disacharyd. Najbardziej popularnymi szczepami bakteryjnymi uczestniczącymi w tym procesie są: *L. bulgaricus* i *L. helveticus* (Vaidya i in. 2013). Innym disacharydem używanym do produkcji kwasu mlekowego na skalę przemysłową jest laktoza – naturalny substrat dla większości bakterii mlekowych. Laktoza jako surowiec wtórny jest pozyskiwana z serwatki, będącej głównym odpadem w przemyśle mleczarskim (stanowi aż 80–90% objętości przetwarzanego mleka przy produkcji serów i kazeiny). Szacuje się, że na całym świecie rocznie produkuje się ok. 120 mln ton tego odpadu (66% w Unii Europejskiej, 25% w Ameryce Północnej, 9% reszta

świata) (Nikodinovic-Runic i in. 2013, Koller i in. 2010). Świeża serwatka, powstająca z tradycyjnej produkcji sera, składa się głównie z wody (94%) oraz laktozy (4,5%), a także małych ilości białek, tłuszczów i soli mineralnych reprezentowanych głównie przez chlorki sodu oraz potasu, a także przez fosforany wapnia (Peters 2006, Prazeres i in. 2012).

**Tabela 11.3.** Wybrane surowce wtórne do biosyntezy kwasu mlekowego

Bakterie produkujące kwas mlekowy	Rodzaj surowca	Obróbka wstępna	Typ kwasu mlekowego	Produktywność wolumetryczna [g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
–	Otręby ryżowe	Hydroliza	Kwas L-mlekowy	0.37
<i>Lactobacillus casei</i> i <i>Lactobacillus delbrueckii</i>	Bagassa	Hydroliza enzymatyczna: α-amylaza, glukoamylaza	Kwas L-mlekowy	1.36
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>delbrueckii</i>	Melasa	Hydroliza chemiczna	–	4.15
<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	Celobioza i celotrioza	–	Kwas L-mlekowy	2.25
<i>Lactobacillus bifermantans</i>	Syrop z otrębów pszennych	Hydroliza	–	4.48
<i>Lactobacillus casei</i> i <i>Lactobacillus delbrueckii</i>	Otręby pszenne	Hydroliza	Kwas L-mlekowy	2.30
<i>Rhizopus arrhizus</i> DAR 36017	Odpady ziemniaczane	–	Brak danych	1.05
<i>Lactobacillus pentosus</i> CECT 4023T	Słoma z pszenicy	Hydroliza chemiczna i enzymatyczna	Brak danych	0.52–1.56

Źródło: Taniguchi i in. 2005, John i in. 2006, Dumbrepatil i in. 2008, Adsul i in. 2007, Givry i in. 2008, Huang i in. 2003, Cubas-Cano i in. 2018.

Proces przekształcania materiału celulozowego w kwas mlekowy jest rzadko wykonywany ze względu na wysoki koszt, jaki trzeba ponieść w wypadku hydrolizy celulozy. Proces ten może składać się z dwóch etapów – całkowitego scukrzania odpadów oraz fermentacji cukrów prostych do kwasu mlekowego, albo z jednego, w którym hydroliza substratu przez celulazy jest połączona z fermentacją kwasu mlekowego (Adsul i in. 2007). Wybrane procesy wykorzystujące surowce wtórne do produkcji kwasu mlekowego zebrano w tabeli 11.3.



## (2) Polihydroksyalkaniany

Polihydroksyalkaniany są wytwarzane jako rezerwy węgla i energii na drodze wyrafinowanych przemian biochemicznych. Drobnoustroje rozpoczynają produkcję biopolimerów w obecności nadmiaru źródła węgla, zwłaszcza przy jednoczesnym niedoborze innego nieorganicznego składnika odżywczego lub przy dużych zmianach pH (Anjum i in. 2016). Ze względu na mechanizm akumulacji PHA można wyróżnić dwie grupy mikroorganizmów. Bakterie, które do syntezy PHA potrzebują czynnika limitującego, stanowią pierwszą grupę drobnoustrojów – należą do nich takie bakterie, jak: *Alcaligenes eutrophus*, *Protomonas extorquens* czy *Protomonas oleovorans*. Druga grupa bakterii, w tym *Alcaligenes latus*, zmutowany szczep *Azotobacter vinelandii* i rekombinowane *E. coli*, to mikroorganizmy, które nie wymagają ograniczenia składników odżywczych do syntezy PHA (Ojumu i Solomon 2004). Akumulacja polihydroksyalkanianów zachodzić może na drodze trzech ścieżek metabolicznych (rys. 11.6).

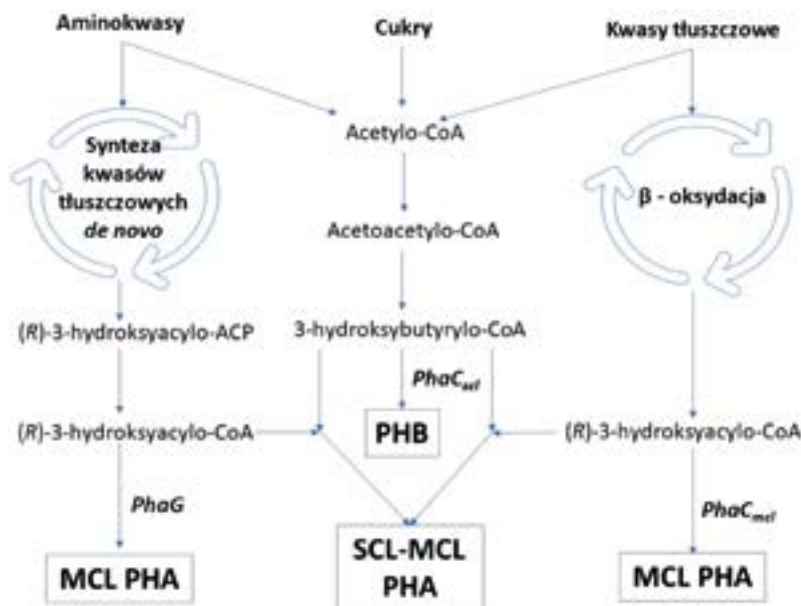
**Ścieżka I** ukazuje typowy przypadek syntezy krótkołańcuchowych PHA. W procesie tym dwie cząsteczki acetylo-CoA wytwarzane z aminokwasów, cukrów lub kwasów tłuszczowych są przekształcane przez specjalne enzymy ( $\beta$ -ketotiolazę i reduktazę acetoacetylo-CoA) do 3-hydroksybutyrylo-CoA. Następnie syntaza scl-PHA ( $\text{PhaC}_{\text{scl}}$ ) polimeryzuje 3-hydroksybutyrylo-CoA, w wyniku czego powstaje biopolimer PHB (Wang i in. 2012). Reprezentantem mikroorganizmu posiadającego syntazę scl-PHA, specyficzną dla substratów o długości łańcucha C3-C5, jest *Ralstonia eutropha* (Chen i in. 2015).

**Ścieżka II** obejmuje proces  $\beta$ -oksydacji kwasów tłuszczowych oraz włączenie produktów pośrednich, które w nim powstają, do syntezy PHA zbudowanych ze średniej długości łańcuchów (mcl). W pierwszej kolejności kwasy tłuszczowe są przekształcane w enoilo-CoA podczas  $\beta$ -oksydacji. Następnie hydrataza (*R*)-3-hydroksyacylo-CoA katalizuje otrzymywanie z enoilo-CoA, (*R*)-3-hydroksyacylo-CoA. (*R*)-3-hydroksyacylo-CoA za sprawą syntazy mcl-PHA ( $\text{PhaC}_{\text{mcl}}$ ) ulega polimeryzacji do mcl-PHA. Ścieżka II jest bardzo często obecna u bakterii z rodzaju *Pseudomonas* (Sudesh i in. 2000).

**Ścieżka III** obejmuje cykl syntezy kwasów tłuszczowych *de novo*, który dostarcza (*R*)-3-hydroksyacylo-ACP, niezbędnych do syntezy PHA zbudowanych ze średniej długości łańcuchów (mcl). Głównym enzymem w tym procesie jest transferaza 3-hydroksyacyloacylowego nośnika (ACP)-CoA (PhaG), która przekształca (*R*)-3-hydroksyacylo-ACP w (*R*)-3-hydroksyacylo-CoA, niezbędny do syntezy mcl-PHA (Chen i in. 2015). Istnieje również teoria mówiąca, że enzym PhaG w rzeczywistości działa jako tioesteraza (*R*)-3-hydroksyacylo-ACP, która wytwarza (*R*)-3-hydroksykwasów tłuszczowych. W związku z tym przypuszcza się, że co najmniej jedna ligaza (*R*)-3-hydroksyacylo-CoA

jest niezbędna do dostarczenia prekursora PHA – (*R*)-3-hydroksyacylo-CoA (Wang i in. 2012). Wykazano, że synteza kwasów tłuszczowych *de novo* i cykl  $\beta$ -oksydacji mogą być niezależnie aktywne w celu dostarczania prekursorów do syntezy PHA (Huijberts i in. 1994).

**Rysunek 11.6.** Ścieżki biosyntezy polihydroksyalkanianów



Źródło: opracowanie własne na podstawie: Chen i in. 2015.

Do produkcji PHA, jego kopolimerów i terpolimerów używa się szerokiej gamy surowców różnego pochodzenia, w tym: przemysłowych produktów ubocznych, takich jak: tłuszcze i oleje, cukry, surowców lignocelulozowych z odpadów rolnych oraz leśnych, spożywczych odpadów domowych i przemysłowych, glicerolu, a także ścieków i śmieci (Anjum i in. 2016). Szeroki zbiór substratów, z których bakterie mogą produkować biopolimery, można podzielić na dwie grupy: surowce pierwotne oraz surowce wtórne reprezentujące różnego rodzaju odpady.

### Surowce pierwotne

Aby zwiększyć konkurencyjność biodegradowalnych polimerów względem taniach, petrochemicznych, oprócz ich przyjaznego charakteru względem środowiska muszą odznaczać się również niskim kosztem produkcyjnym. W ostatnich latach poszukiwano różnego rodzaju surowców, których koszt pozyskania jest

niewielki lub które nie kosztują nic. Jednym z takich substratów produkcyjnych jest trawa, która pokrywa ok. 30 mln km<sup>2</sup> Ziemi (Panunzi 2008). Trawa może wzrastać w różnych strefach kuli ziemskiej, nawet w tych, które nie nadają się do upraw żadnej innej roślinności rolniczej. Jej skład procentowy różni się w zależności od rodzaju i miejsca, w którym występuje, niemniej podstawowymi jej komponentami są: celulozy, hemicelulozy, lipidy, ligniny i cukry, co czyni ją substratem bogatym w węgiel (Ellis i in. 2012). Biorąc pod uwagę łatwą dostępność trawy jako surowca, a dodatkowo fakt, że nie może konkurować z roślinami spożywczymi, stanowi ona idealny materiał do produkcji polihydroksyalkanianów (Cerrone i in. 2014). Aby trawa mogła zostać wykorzystana jako substrat przez bakterie produkujące PHA, musi przejść etap obróbki wstępnej. Polega ona na poddawaniu posiekanej, zakiszzonej trawy procesom mikrobiologicznym, takim jak fermentacja mikrobiologiczna z wykorzystaniem mieszanej kultury bakterii. Wynikiem takiego zabiegu jest otrzymanie surowca bogatego w lotne kwasy tłuszczowe, takie jak: octanian, propionian, maślan i walerian. Następnie zatężona mieszanina kwasów zostaje wykorzystana przez bakterie syntetyzujące PHA. Finalnie uzyskany polimer charakteryzuje się mieszanym składem z przewagą monomerów kwasu (*R*)-3-hydroksydekanowego oraz niewielkimi ilościami kwasów (*R*)-3-hydroksyoktanowego oraz (*R*)-3-hydroksydodekanowego (Cerrone i in. 2014). Inną metodą obróbki wstępnej traw jest ich hydroliza, w wyniku której biomasa obecna w surowcu przekształcana zostaje do mieszaniny cukrów prostych. Takie zatężone hydrolizaty cukrowe mogą służyć do produkcji zarówno scl-PHA, jak i mcl-PHA (Jeyaseelan i in. 2012, Cerrone i in. 2015).

Pierwotnymi substratami do produkcji PHA mogą być także różnego rodzaju oleje roślinne, takie jak: sojowe, kokosowe, palmowe, rzepakowe, czy też kauczukowe, które charakteryzują się niskim kosztem produkcji (Kahar i in. 2004, Lee i in. 2008, Kynadi i Suchithra 2017). Kwasy tłuszczowe, jakie można uzyskać z olejów roślinnych, różnią się w zależności od rodzaju oleju, jednak bardzo często są to: kwas palmitynowy, kwas stearynowy, kwas oleinowy, kwas linolowy, a także  $\alpha$ -linolenowy, kapronowy, kaprylowy oraz mirystynowy (Kynadi i Suchithra 2017). Wykorzystując do biosyntezy PHA oleje bogate w kwasy oleinowe, można otrzymać takie kopolimery, jak: P(3HB-co-3HV), P(3HB-co-3HHx), P(3HB) oraz mcl-PHA (Kahar i in. 2004, Ng i in. 2011).

Ciekawym rozwiązaniem jest również sprzężenie bioprodukcji wodoru z biosyntezą polihydroksyalkanianów z wykorzystaniem alg niebieskich jako surowca. W pierwszym etapie algi poddawane są alkalizacji, a następnie przechodzą proces fermentacji beztlenowej, w której produkowany jest wodór, a także kwasy tłuszczowe, takie jak: kwas masłowy, kwas propionowy oraz

octowy. Następnie sfermentowane produkty trafiają do reaktora, gdzie przy użyciu bakterii *Bacillus cereus* wytwarzany jest P(3HB) (Yan i in. 2010).

Inną interesującą propozycją otrzymywania PHA na drodze biosyntezy jest wykorzystanie, jako źródła węgla, CO<sub>2</sub> przy użyciu autotroficznych bakterii, takich jak *Ralstonia eutropha*. Bakterie utleniające wodór uzyskują energię do wiązania CO<sub>2</sub> z otoczenia przez utlenianie wodoru za pomocą tlenu. Są to bakterie często występujące w środowisku naturalnym, szczególnie w oceanach, glebach, rzekach albo gorących źródłach (Yabuuchi i in. 1995). Wiadomo, że wiele bakterii utleniających wodór, zwłaszcza *R. eutropha*, potrafi gromadzić P(3HB) jako materiał zapasowy w warunkach z ograniczonymi składnikami odżywczymi. Ograniczeniem procesu wpływającym na jego wydajność jest jednak stężenie tlenu, które nie może przekraczać 6,9% (obj/obj) w stosunku do wodoru z uwagi na zagrożenie wybuchem (Ishizaki i in. 2001). Przedstawione procesy zostały zebrane w tabeli 11.4.

**Tabela 11.4.** Przykłady surowców pierwotnych do produkcji PHA

Bakterie produkujące PHA	Rodzaj surowca	Obróbka wstępna odpadów	Rodzaj hodowli	Produktywność wolumetryczna [g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
<i>Pseudomonas putida</i> KT2440	Trawa	Fermentacja	Namnażanie czystych kultur, fermentacja przy limitowanej zawartości azotu	0.01
<i>Ralstonia eutropha</i> MTCC 1472	Trawa Cynodon palczasty/ nasiona Czapetki kuminowej	Hydroliza	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.01–0.02
<i>Burkholderia sacchari</i> IPT101	Sok z trawy	–	Namnażanie czystych kultur, fermentacja przy limitowanej zawartości azotu	0.41
<i>Bacillus cereus</i> STV1180	Olej z nasion kauczuku	Fermentacja	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.03

Bakterie produkujące PHA	Rodzaj surowca	Obróbka wstępna odpadów	Rodzaj hodowli	Produktywność wolumetryczna [g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
<i>Ralstonia eutropha</i> H16	Olej sojowy	–	Namnażanie czystej kultury z jednoczesną indukcją sekrecji lipaz, fermentacja przy limitowanej zawartości fosforu	0.92
<i>Ralstonia eutropha</i>	CO <sub>2</sub>	–		1.02

Źródło: Cerrone i in. 2014, Jeyaseelan i in. 2012, Cerrone i in. 2015, Kynadi i Suchithra 2017, Kahar i in. 2004, Ishizaki i in. 2001.

## Surowce wtórne

### Odpady spożywcze

Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) oszacowała, że globalnie jedna trzecia żywności produkowanej do spożycia jest marnowana i wyrzucana, co stanowi ok. 1,3 mld ton jedzenia rocznie (FAO 2011). Ilość odpadów żywnościowych w Europie wynosi ok. 90 mln ton na rok, z czego szacunkowo największy odsetek odpadów generują gospodarstwa domowe (42%) oraz przemysł spożywczy (35%). Znacznie mniej żywności jest marnowanej w sektorze detalicznym oraz gastronomicznym (odpowiednio 5% oraz 14%) (Monier i in. 2011). Różnorodne odpady spożywcze i produkty uboczne związane z wytwarzaniem żywności można wykorzystać jako surowce do biotechnologicznej produkcji polihydroksyalkanianów (tabela 11.5). Zmieszane odpady spożywcze charakteryzują się dużą złożonością, różnorodnością właściwości fizycznych, wielkością cząstek oraz składem, dlatego wstępna obróbka takiego surowca jest etapem niezbędnym (Nikodinovic-Runic i in. 2013). Faza poprzedzająca produkcję PHA ma na celu zwiększanie dostępnych dla bakterii źródeł węgla, odpowiednie rozcieńczenie surowca, dostosowanie pH, uregulowanie temperatury, sterylizację odpadów lub usunięcie ciał stałych (Rodriguez-Perez i in. 2018). Zebrane odpady spożywcze, takie jak: gotowane lub surowe warzywa i owoce, gotowany ryż, kasze, makarony, mięsa, obierki oraz oleje kuchenne, są najczęściej mielone z użyciem elektrycznych blenderów, filtrowane przez sito ze stali nierdzewnej oraz rozdzielone przez separator grawitacyjny na frakcje olejową oraz przesącz wolny od oleju (Reddy i in. 2013). Następnie tak przygotowany filtrat zostaje poddany kontrolowanej hydrolizie i kwasogenezie. Celem

tego etapu jest zwiększenie dostępności węgla dla bakterii produkujących PHA. Hydroliza jest procesem przeprowadzanym przez bakterie hydrolityczne wyposażone w takie enzymy, jak: amylazy, proteazy czy lipazy, dzięki czemu potrafią rozkładać złożone związki organiczne (węglowodany, białka i tłuszcze) do prostych, tj. monocukrów, aminokwasów lub kwasów tłuszczowych. Kwasogeneza to dodatkowy rozkład wcześniej zhydrolizowanych substancji na jeszcze prostsze, w wyniku czego otrzymuje się krótkołańcuchowe kwasy organiczne, takie jak: kwas octowy, propionowy, masłowy czy walerianowy (Mohanakrishna i in. 2010, Amulya i in. 2015). W przeciwieństwie do czystych kultur bakteryjnych, mieszane kultury są często korzystniejsze do wstępnego „trawienia” bioodpadów (Kumar i in. 2015).

Drugim etapem procesu wytwarzania polihydroksyalkanianów z bioodpadów pochodzenia spożywczego jest uzyskanie wystarczającej ilości biomasy bakteryjnej zdolnej do produkcji oraz maksymalnej akumulacji PHA wewnątrz swoich komórek. Jednym z podejść jest stosowanie czystych kultur bakteryjnych, ich namnażanie do odpowiedniej ilości aktywnej biomasy na pożywkach z łatwo przyswajalnym źródłem węgla oraz ich aklimatyzacja przed trzecim etapem procesu (syntezą PHA) (Schmidt i in. 2016, Ricardo i in. 2016). Aklimatyzacja szczepów polega na ograniczeniu w medium jednego ze składników odżywczych przy jednoczesnym, łatwym dostępie do źródła węgla. Taki zabieg może poprawić akumulację PHA w bakteriach (Alsafadi Othman Al-Mashaqbeh 2016). Produkcja PHA z zastosowaniem kultur mieszanych jest drugim podejściem wykorzystywanym w tym procesie. Strategia ta opiera się na okresowym „karmieniu” bakterii. W fazie pierwszej dodawane zostaje źródło węgla, które pozwala na swobodne namnażanie się bakterii. Faza druga – bez dodatku źródła węgla (tzw. faza głodu), generuje presję selektywną mikroorganizmów zdolnych do wytwarzania oraz gromadzenia PHA (Colombo i in. 2016, Chen i in. 2015).

Trzecim etapem procesu jest synteza PHA i ich akumulacja w bakterii. Zazwyczaj etap ten przebiega w innym reaktorze niż etap drugi, jednak wykorzystując czystą kulturę bakteryjną, stosuje się także podejście syntezy PHA w tym samym reaktorze co namnażanie biomasy (Rodriguez-Perez i in. 2018). Struktura PHA, jaką się otrzymuje, jest bezpośrednio związana ze składem użytego do syntezy substratu (Reddy i in. 2016). Istnieje proporcjonalna zależność pomiędzy składem kwasów tłuszczowych stanowiących źródło węgla w medium hodowlanym a strukturą molekularną PHA, które z nich powstają. Im większy udział kwasów tłuszczowych średnio- i długołańcuchowych, tym więcej bloków budulcowych o średnich i długich łańcuchach w biopolimerze PHA. Istnieje zatem możliwość projektowania biopolimerów i ich właściwości poprzez manipulację składem źródła węgla w pożywce (Schmidt i in. 2016, Cruz i in. 2015,

Elain i in. 2016). Ostatnim etapem jest ekstrakcja polimeru z biomasy bakteryjnej oraz jego oczyszczanie.

**Tabela 11.5.** Przykłady surowców wtórnych do produkcji PHA – odpady spożywcze

Bakterie produkujące PHA	Rodzaj odpadów	Obróbka wstępna odpadów	Rodzaj hodowli	Produktywność wolumetryczna [g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
Osad czynny, Kultury mieszane	Owoce, warzywa, ryż, gotowane mięso, olej	Miksowanie, filtracja, rozdzielanie na frakcje, regulacja pH, rozcieńczenie, hydroliza	Fermentacja z okresowym wkręcaniem w fazie II	0.08–0.17
<i>Bacillus ssp</i>	Łupiny grochu, obierki ziemniaczane, wycieczki z jabłek, skórka cebuli	Hydroliza, rozdzielanie na frakcje stałe i płynne, filtracja	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.011
<i>Cupriavidus necator</i>	Zużyty olej spożywczy	–	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.108
<i>Cupriavidus necator</i> DSM 428	Fusy z kawy	Suszenie, ekstrakcja	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.196
<i>Cupriavidus necator</i>	Zużyty olej spożywczy	–	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.336

Źródło: Amulya i in. 2015, Kumar i in. 2015, Cruz i in. 2015, Cruz i in. 2014.

### Odpady przemysłowe

Odpady przemysłowe pochodzą głównie z zakładów zajmujących się produkcją i przetwórstwem żywności (cukrownie, gorzelnie, ubojnie, mleczarnie oraz chłodnie i olejarnie) i z powodzeniem znalazły zastosowanie jako substraty do produkcji PHA (tabela 11.6). Serwatka jest jednym z najczęstszych odpadów przemysłowych na świecie, a jego wykorzystanie do produkcji PHA zostało bardzo dobrze opisane. Jednym z podejść spożytkowania serwatki do produkcji PHA jest użycie laktozy, która jest jej głównym składnikiem organicznym, z pominięciem etapu hydrolizy. W tym celu wybierane są mikroorganizmy, które są zdolne do syntezy PHA z dwucukrów. Przykładem jest *Methylobacterium sp.*

ZP24, która produkuje P(3HB) z laktozy obecnej w serwatce (Nath i in. 2008). Częstym etapem poprzedzającym biosyntezę PHA jest hydroliza enzymatyczna serwatki przy udziale  $\beta$ -galaktozydaz i hydrolaz kwasowych, w wyniku czego otrzymuje się mieszaninę cukrów prostych: galaktozy oraz glukozy. Rozkład enzymatyczny laktozy zawartej w serwatce jest podejściem drogim, dlatego niektórzy zastępują je tańszą chemiczną hydrolizą substratu. Wykorzystując bakterie *H. mediterranei*, można przekształcić obecne w medium monocukry do kopolimeru P(3HB-co-3HV) (Pais i in. 2015). Innym sposobem na wykorzystanie serwatki jest jej wcześniejsza fermentacja z wykorzystaniem wyselekcjonowanych mieszanych kultur bakterii, w wyniku czego otrzymuje się kompozycję różnych kwasów, takich jak: mlekowy, masłowy, octowy, propionowy lub walerianowy. Następnie wyprodukowane kwasy organiczne wykorzystywane są do biosyntezy polimeru PHA (Colombo i in. 2016).

Jednym z odpadów powstających w trakcie produkcji cukru jest melasa – lepki, ciemnobrunatny syrop, z którego otrzymanie krystalicznej sacharozy jest trudne i nieoptyczne. W zależności od przemysłu, z którego melasa pochodzi (melasa trzcinowa, buraczana, browarnicza), charakteryzuje ją różny skład. Średnia zawartość cukru w melasie buraczanej wynosi ok. 50%, a w trzcinowej 38,5%, z czego większość cukrów to sacharoza, a tylko mała część to glukoza i fruktoza (Peña Miranda i in. 1996, Fan i in. 2011, Kotarska i Dziemianowicz 2015, Krzysztof i Szajner 2013). Znaczną część składu melasy stanowią sole mineralne, w tym tlenek potasu (5,5%), oraz pierwiastki śladowe, takie jak: wapń, magnez, potas i żelazo (Krzysztof i Szajner 2013). Roczna światowa produkcja tego odpadu wynosi ok. 50 mln ton (Nikodinovic-Runic i in. 2013). Stosowanie odpadów z rafinerii cukrowych jako źródła węgla dla bakterii produkujących polihydroksyalkaniany stało się dobrą alternatywą dla ich zagospodarowania i utylizacji. Wstępna obróbka melasy przed syntezą biopolimeru PHA obejmuje kilka prostych działań, takich jak: gotowanie, neutralizacja, rozcieńczanie, a często także oczyszczanie węglem aktywnym. Tak przygotowany surowiec może zostać wykorzystany do syntezy PHA w specjalnych szczepach bakteryjnych. Przykładem takich szczepów mogą być *Pseudomonas aeruginosa* lub *Bacillus megaterium* (Dutt i Ajay 2012, Gouda i in. 2001). Innym podejściem wykorzystującym melasę jako substrat dla syntezy PHA jest jej wcześniejsza fermentacja, której produktami są lotne kwasy tłuszczowe, takie jak: octan, propionian, butylan i walerianian. Następnie takie kwasy są używane jako substraty do syntezy PHA z wykorzystaniem często mieszanych, wyselekcjonowanych kultur bakteryjnych. Na drodze takiego procesu można otrzymać różne rodzaje PHA, w tym PHB oraz kopolimery P(HB-co-HV) w zależności od wybranego szczepu produkcyjnego (Albuquerque i in. 2010, 2007, Carvalho i in. 2013).



Bagassa – wytloki stanowiące pozostałość po wyciśnięciu soku z trzciny cukrowej, to kolejny produkt uboczny przemysłu cukrowniczego. Każdego roku ponad 200 mln ton wytlóków uzyskuje się podczas produkcji cukru z trzciny cukrowej (Almazan i in. 1998). W skład wysuszonej bagassy wchodzi: 43% celulozy, 25% ksylanu, 25,6% ligniny, 1,4% arabinianu oraz 5% popiołu (Yu i Stahl 2008). Drobnio zmielone wytloki zostają poddawane hydrolizie poprzez użycie rozcieńczonego kwasu siarkowego i podwyższonych temperatur. Wykorzystując następnie takie bakterie, jak *Ralstonia eutropha* czy *Burkholderia cepacia*, można z uzyskanego hydrolizatu uzyskać na drodze biosyntezy biopolimer PHB (Yu i Stahl 2008, Silva i in. 2004).

Do innej grupy odpadów z przemysłu spożywczego należą odpady bogate w lipidy, które są produkowane w dużych ilościach w przetwórstwie roślinnym, mięsny, mlecznym oraz przez olejarnie. Szacuje się, że rocznie w samych Stanach Zjednoczonych zużywanych jest 11 mln litrów olejów kuchennych, natomiast w Europie ok. 1 mln litrów. Zużyte oleje pochodzą najczęściej z przemysłowych zakładów przetwórstwa ziemniaków oraz restauracji (w tym głównie fast foodów) (Nikodinovic-Runic i in. 2013, Radich 2006). Niektóre odpady lipidowe można zastosować jako substraty do produkcji PHA, jako alternatywa do ich utylizacji. Zabiegiem poprzedzającym syntezę PHA z odpadów olejowych jest ich zakwaszanie z użyciem kwasotwórczej mieszanej kultury bakteryjnej, często pochodzącej z osadów czynnych. Głównym produktem rozkładu odpadów tłuszczowych są krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, takie jak maślan, octan oraz propionian. Takie krótkie kwasy organiczne są źródłem węgla, który jest chętnie przyswajalny przez bakterie produkujące mcl-PHA, jak *Pseudomonas* sp., w tym głównie *Pseudomonas putida*. Na drodze biosyntezy PHA z substratów pochodzących z olejarni i oliwiarni można otrzymać zarówno krótkołańcuchowe polihydroksyalkaniany (scl-), takie jak PHB, jak i PHA o średniej długości łańcuchów (mcl-), np. polihydroksyoktanian [P(3HO)] (Ntaikou i in. 2014, Campanari i in. 2014, Verlinden i in. 2011). W zależności od składu i charakteru wykorzystywanych odpadów tłuszczowych różni się również otrzymywany na drodze biosyntezy polimer PHA. Używając technicznego kwasu oleinowego, zużytego oleju kuchennego czy kwasów tłuszczowych z oleju sojowego, można otrzymać wiele różnych długołańcuchowych PHA mających w swej budowie monomery nasycone oraz nienasycone, takie jak: C8, C10, C12, C14, a także C12:1 i C14:1 (Fernandez i in. 2005). Dobrym substratem do otrzymania kopolimeru [P(3HB-co-3HHx)] z wykorzystaniem rekombinowanego szczepu *Wautersia eutropha* są oleje pochodzące z ziaren palmowych (Loo i in. 2005).

Inną grupę odpadów przemysłowych, nienależące do wyżej opisanych odpadów przemysłu spożywczego, są pozostałości po produkcji biopaliwa.

Do najczęstszych odpadów poprodukcyjnych biodiesla należy glicerol. Jednym ze sposobów wydajnej utylizacji glicerolu jest produkcja bioplastików z udziałem odpowiednich bakterii. Jako przykład może tu posłużyć biosynteza PHB oraz kopolimeru P(3HB-co-3HV) z surowego glicerolu z użyciem nowo odkrytego szczepu bakteryjnego *Pandoraea sp.* MA03, zdolnego do produkcji PHA (Coutinho de Paula i in. 2016). *Pannonibacter phragmitetus* ERC8 to inny przykład bakterii, przy której udziale możliwa jest produkcja PHA z odpadów przemysłu biopaliwowego (Ray i in. 2016). Wykorzystanie surowego glicerolu do produkcji PHA jest z kolei alternatywą dla wspierania produkcji biodiesla z tłuszczów i olejów.

**Tabela 11.6.** Przykłady surowców wtórnych do produkcji PHA – odpady przemysłowe

Bakterie produkujące PHA	Rodzaj odpadów	Obróbka wstępna odpadów	Rodzaj hodowli	Produktywność wolumetryczna [g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
<i>Haloferax mediterranei</i>	Serwatka	Kwaśna hydroliza	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.168
Rekombinowana <i>E. coli</i> i <i>R. eutropha</i>	Otręby ryżowe	Hydroliza, filtracja, sterylizacja	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.036
Osad czynny, kultury mieszane	Serwatka	Fermentacja, sterylizacja	Fermentacja z okresowym wkarmianiem w fazie II	0.038
<i>Bacillus megaterium</i>	Melasa	Wzbogacenie melasy w mono i dwucukry	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.027
<i>Burkholderia sacchari</i> IPT 101	Bagassa	Filtracja przez aktywny węgiel, kwaśna hydroliza	Fermentacja przy limitowanej zawartości fosforu w medium	0.47
Osad czynny, Kultury mieszane	Odpady z oliwiarni	Ekstrakcja z fazy stałej, fermentacja kwasotwórcza	Fermentacja z okresowym wkarmianiem w fazie II	0.063
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 42A2 NCIB40045	Zużyty olej spożywczy	–	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.080

Bakterie produkujące PHA	Rodzaj odpadów	Obróbka wstępna odpadów	Rodzaj hodowli	Produktywność wolumetryczna [g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
<i>Haloferax mediterranei</i>	Odpady z oliwiarni	Rozcieńczenie	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.020
<i>Pandoraea</i> sp. MA03	Surowy glicerol	–	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.029
<i>Cupriavidus necator</i> IPT 029 i <i>Bacillus megaterium</i> IPT 429	Surowy glicerol	–	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.052–0.084

Źródło: Pais i in. 2015, Oh i in. 2015, Colombo i in. 2016, Gouda i in. 2009, Silva i in. 2004, Campanari i in. 2014, Fernandez i in. 2005, Alsafadi Othman Al-Mashaqbeh 2016, Coutinho de Paulai in. 2016, Ribeiroa i in. 2016.

### Ścieki komunalne

Miasta i miasteczka wyposażone w kanalizację produkują duże ilości bardzo zróżnicowanych rodzajów ścieków komunalnych, które trafiają do oczyszczalni. Szacunkowo roczna ilość ścieków produkowanych w wymiarze globalnym wynosi 330 km<sup>3</sup>. Jakość tych odpadów zależy od ich źródła, sposobu ich gromadzenia oraz oczyszczania. Ostateczny los tych odpadów jest również bardzo zróżnicowany. Chociaż perspektywy odzyskiwania zasobów ze ścieków i osadów mają duży potencjał, to nadal jest on w dużej mierze niewykorzystany (Mateo-Sagasta i in. 2015). Ścieki komunalne składają się w przybliżeniu z 99% wody i 1% rozpuszczonych ciał stałych, a także różnego rodzaju zawiesin i koloidów, które zawierają ludzkie odchody wraz z mikroorganizmami chorobotwórczymi, składnikami odżywczymi oraz materią organiczną.

Do zawartości ścieków wpisuje się różne substancje zanieczyszczające, takie jak leki, hormony, antybiotyki oraz środki piorące i czyszczące, a także metale ciężkie (WWAP 2017). Współczesne podejście do ścieków, zarówno komunalnych, jak i przemysłowych, uznaje je, jako źródło bogate w wodę, azot, fosfor oraz biopolimery, które można odzyskać i powtórnie wykorzystać (Buczak 2016). Powszechnie stosuje się metodę fermentacji osadów ściekowych oraz ich odwodnienia z użyciem pras filtracyjnych. Osady mogą być następnie termicznie utylizowane przy jednoczesnym odzysku energii. Jest to metoda, którą uważa się za jedną z najskuteczniejszych oraz najlepszych pod względem ochrony środowiska.

Ścieki komunalne można również wykorzystać jako źródło węgla do produkcji biopolimerów bakteryjnych. Wstępna obróbka ścieków obejmuje ich beztlenową fermentację w celu wytworzenia medium bogatego w lotne kwasy

tłuszczowe, stanowiące idealny substrat do produkcji PHA (Jia i in. 2014). Ważnym etapem całego procesu jest aklimatyzacja konsorcjum bakteryjnego pochodzącego z osadu czynnego. Polega on na inkubacji bakterii w mieszaninie lotnych kwasów tłuszczowych, glukozy oraz innych składników odżywczych. Następnie aktywowane bakterie trafiają do reaktora, gdzie naprzemiennie stosuje się fazę z dostępem źródła węgla oraz tzw. fazę głodu z limitowanym dostępem węgla. Wspomniane źródło węgla stosowane na tym etapie może zawierać kwas octowy, propionowy, masłowy, a dodatkowo pożywka taka wzbogacana jest w roztwór o wysokim stężeniu azotu i fosforu oraz w wodę i niezbędne pierwiastki śladowe. Etap ten selekcjonuje bakterie zdolne do produkcji i akumulacji PHA. Kolejny etap, którym jest biosynteza PHA, wykorzystuje sfermentowany substrat pochodzenia ściekowego, wcześniej przefiltrowany oraz odpowiednio rozcieńczony, do którego dodawana jest biomasa bakteryjna zawierająca już jedynie mikroby produkujące PHA (Jia i in. 2014, Basset i in. 2016). Najczęstszym produktem uzyskiwanym na drodze biosyntezy PHA ze ścieków komunalnych jest kopolimer P(3HB-co-3HV). Choć często obserwuje się wyższą zawartość hydroksymaślanu w kopolimerze, to jednak finalny skład bioplastiku zależy od rodzaju lotnych kwasów tłuszczowych zawartych w ściekach (Amulya i in. 2015, Hjort i in. 2015, Cha i in. 2015).

### Odpady rolne i leśne

Odpady roślinne z upraw, które generuje rolnictwo, stanowią ogromne zasoby biomasy, którą można również wykorzystać jako cenny surowiec do produkcji PHA. Do pozostałości rolnych zaliczane są łodygi, liście oraz strąki nasion, natomiast do odpadów poprocesowych wlicza się dodatkowo obierki, łupiny, nasiona, wytloki oraz korzenie. Wszystkie te odpady są bogate w węglowodany celulozowe, skrobiowe i inne. Ciągłe rosnąca liczba ludzi na świecie powoduje, że wzrasta również zapotrzebowanie na pożywienie, za czym idzie również wzrost upraw rolnych, a tym samym potencjalnych surowców do produkcji bioplastików (Alexandratos i Bruinsma 2012).

Jednym z najważniejszych odpadów rolnych jest skrobia. Najczęściej otrzymywana jest z nasion kukurydzy, grochu, pszenicy oraz ryżu, a także z bulw i korzeni, jak w przypadku ziemniaków, manioku oraz batatów (Lewandowicz 2017). Znanych jest wiele mikrobów charakteryzujących się zdolnością wytwarzania PHA z surowej skrobi, bez wcześniejszej jej obróbki wstępnej. Przykładami takich bakterii zdolnych do trawienia polisacharydów i produkcji PHA są: *Saccharophagus degradans*, *Bacillus sphaericus* NCIM 5149 lub nowo odkryta *Bacillus aryabhatai* T34-N4. W wyniku ich działania otrzymuje się głównie PHB (Ramadas i in. 2009, Gonzalez-Garcia i in. 2011, Bomrungnok i in. 2019). Ze względu na złożoną strukturę, a także słabą rozpuszczalność

skrobi częstym rozwiązaniem, poprawiającym wydajność procesu, jest jej hydroliza z użyciem komercyjnych  $\alpha$ -amylaz, w wyniku której powstaje glukoza. Zhydrolizowana skrobia następnie stanowi substrat do biosyntezy polimeru, w tym przypadku głównie P(3HB-co-3HV) (Chen i in. 2006) oraz PHB z wykorzystaniem *Ralstonia eutropha* (Haas i in. 2008). Inną modyfikacją skrobi, pozwalającą na jej lepsze wykorzystanie w produkcji PHA, jest kwasogeneza, w której otrzymywane są lotne kwasy tłuszczowe, przekształcane następnie do PHA (Yu 2001).

Dużą częścią rolniczych pozostałości są włókniste odpady lignocelulozowe, składające się z lignin, pektyn, celuloz i hemiceluloz. Do tego rodzaju odpadów zaliczyć można: wszelkiego rodzaju słomy, łuski warzyw strączkowych, otręby, łuski zbóż, a także suche liście (Nikodinovic-Runic i in. 2013). Ze względu na dużą ilość uprawianych na całym świecie zbóż otręby znalazły zastosowanie jako surowiec do produkcji PHA. Wykorzystanie materiałów lignocelulozowych, jako substratów w procesach biotechnologicznych, stanowi wyzwanie, ze względu na konieczność przeprowadzenia wcześniejszej hydrolizy biomasy, prowadzącej do uzyskania łatwo fermentowalnych cukrów. Dodatkowe utrudnienie stanowią liczne środki przeciwbakteryjne obecne w materiale (Obruca i in. 2015). Celuloza i hemiceluloza są polisacharydami, które stosunkowo łatwo można rozłożyć na cukry proste, a następnie poddać fermentacji lub chemicznie przetworzyć na wartościowe surowce. Procesy hydrolizy odpadów lignocelulozowych mogą obejmować obróbkę fizyczną materiału, metody chemiczne, takie jak hydroliza z wykorzystaniem kwasu, jak również metody enzymatyczne i chemiczno-enzymatyczne (Obruca i in. 2015).

Wśród różnych rodzajów lignocelulozy biomasa leśna stanowi ogromny rezerwuar odnawialnego materiału bogatego w węgiel. W skali globalnej rocznie produkuje się ok. 80 mld ton biomasy drzewnej. W przemyśle papierniczym większość składnika celulozowego jest wydajnie wykorzystywana. Słabym zagospodarowaniem odznaczają się jednak frakcje hemicelulozy i ligniny, które mogą stanowić półprodukty do biosyntezy PHA. Hydrolizat drzewny jest potencjalnie niedrogim surowcem, a po poddaniu hydrolizie enzymatycznej lub chemicznej można uzyskać z niego fermentowane cukry, takie jak: glukoza, galaktoza, ksyloza czy mannoza, a następnie użyć do produkcji PHA (Pan i in. 2012). Wybrany przykłady omówionych procesów zebrano w tabeli 11.7.

**Tabela 11.7.** Przykłady surowców wtórnych do produkcji PHA – odpady rolne i leśne

Bakterie produkujące PHA	Rodzaj odpadów	Kategoria odpadów	Obróbka wstępna odpadów	Rodzaj hodowli	Produktywność wolumetryczna [g L <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]
<i>Saccharophagus degradans</i>	Skrobia	Odpad rolny	–	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.02–0.06
<i>Bacillus cereus</i> CFR06	Skrobia	Odpad rolny	–	Fermentacja przy limitowanej zawartości azotu w medium	0.06–0.07
<i>Haloferax mediterranei</i>	Skrobia	Odpad rolny	Hydroliza	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.267
<i>Burkholderia cepacia</i> ATCC 17759	Hydrolizat drzewny	Odpad leśny	Hydroliza	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.091
<i>Haloferax mediterranei</i>	Otręby ryżowe i skrobia	Odpad rolny	Hydroliza enzymatyczna	Namnażanie czystej kultury, synteza PHA	0.205–0.659

Źródło: Bomrungnok i in. 2019, Halami 2008, Chen i in. 2006, Pan i in. 2012, Huang i in. 2006.

## 11.4. Obszary zastosowań biopolimerów w gospodarce

Produkcja tworzyw sztucznych na świecie wzrosła z 335 mln ton w 2016 r. do 348 mln ton w 2017 r. (Bioplastics i Institute 2018). Europa jest drugim po Azji największym producentem materiałów plastikowych – w 2017 r. wytworzono 64,4 mln ton tworzyw sztucznych, a w 2016 r. 60 mln ton. Udział poszczególnych rynków kształtuje się następująco:

- Azja – 50,1% (w tym Chiny 29,4%),
- Europa – 18,5%,
- kraje NAFTA (Północnoamerykański Układ Wolnego Handlu) – 17,7%,
- Środkowy Wschód i Afryka – 7,1%,
- Ameryka Łacińska – 4%,
- WNP (Wspólnota Niepodległych Państw) – 2,6%.

Obecnie udział biopolimerów stanowi jedynie ok. jednego procentu plastiku produkowanego rocznie na świecie. Jednakże wzrastający popyt i coraz bardziej atrakcyjne możliwości aplikacyjne materiałów biopolimerowych powodują, że rynek ten stale rośnie. Dane rynkowe opracowane przez European Bioplastics wraz z instytutem badawczym novaInstitute sugerują, że światowe zdolności produkcyjne biopolimerów mają wzrosnąć z ok. 2,11 mln ton w 2018 r. do ok. 2,62 mln ton w 2023 r.

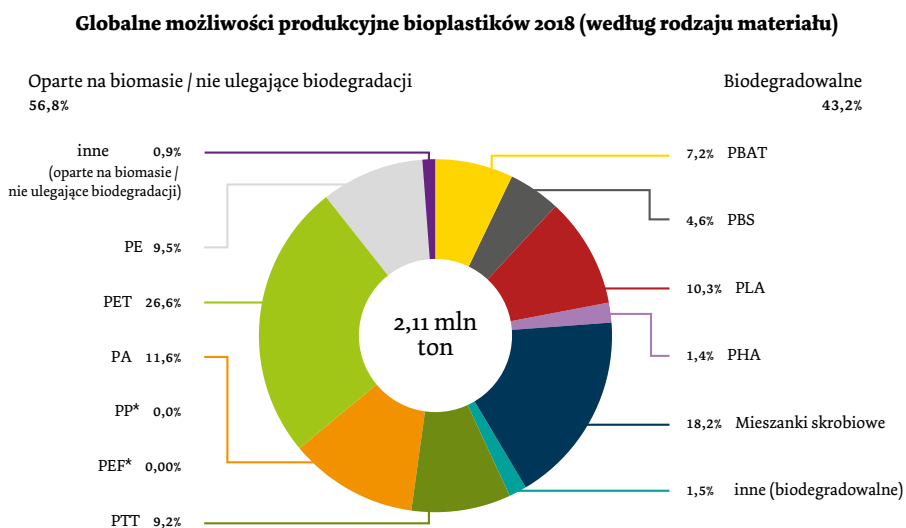
Szczególne zainteresowanie i przewidywany znaczny wzrost produkcji biopolimerów w gospodarce dotyczy dwóch materiałów: PLA oraz PHA. Należą one do grupy polimerów biodegradowalnych wytwarzanych z zasobów odnawialnych. PHA, choć znane, tak jak wspomniano na początku rozdziału, już od 1927 r., kiedy to M. Lemoigne z Instytutu Pasteura wyizolował polimer z bakterii *Bacillus*, to dopiero po ponad 30 latach zaczęto je produkować na większą skalę (między innymi przez baptyistów oraz Werbera z W.R. Grace & Co. (USA), którzy uzyskali kilka patentów do produkcji i izolacji P(3HB)) (Philip i in. 2007). Do tej pory naukowcy i technolodzy opracowywali nowe metody produkcji oraz optymalizację procesu fermentacji bakteryjnej tak, aby ich wytwarzanie było ekonomicznie opłacalne.

Prognoza na następne lata jest optymistyczna, gdyż produkcja PHA, będąca obecnie w fazie rozwoju, wreszcie powoli wchodzi na rynek na skalę komercyjną, przy czym szacuje się czterokrotnie wyższe jej zdolności produkcyjne w ciągu najbliższych 4 lat. Co więcej, poliestry z grupy PHA ze względu na zróżnicowaną budowę chemiczną wykazują szeroki zakres właściwości fizykochemicznych i mechanicznych, co umożliwia ich zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki. PLA zyskało miano materiału wszechstronnego z uwagi na doskonałe właściwości barierowe czy właściwości mechaniczne – od materiału miękkiego i elastycznego po twarde i wytrzymałe. Właściwości fizyczne PHA i PLA w porównaniu z innymi konwencjonalnymi polimerami zestawiono w tabeli 11.1. Cechy te sprawiają, że wysokogatunkowe PLA z powodzeniem może stanowić zamiennik PS (polistyrenu), PP (polipropylenu) czy ABS (akrylonitryl-butadien-styrenu) w bardziej zaawansowanych zastosowaniach. Nie dziwi więc przewidywanie wzrostu zdolności produkcyjnej PLA, w porównaniu z 2018 r. (rys. 11.7).

PLA odgrywa kluczową rolę w zastępowaniu paliw kopalnych, ponieważ laktydy, z których jest ostatecznie produkowany, mogą być pozyskiwane na masową skalę poprzez fermentację mikrobiologiczną produktów ubocznych pochodzenia rolniczego, głównie substancji bogatych w węglowodany (Madhavan Nampoothiri i in. 2010). Jako materiał kompostowalny uważany jest za niezwykle cenny w sytuacji, gdy postuluje się zmniejszenie ilości odpadów tworzyw sztucznych. Obecnie materiały oparte na PLA znalazły zastosowanie w trzech

głównych gałęziach gospodarki, tj. w medycynie, przemyśle włókienniczym (tekstylii – głównie w Japonii) oraz na rynku opakowań (głównie dla żywności). Przykładowe produkty wytwarzane z PLA to butelki formowane przez rozdmuchiwanie, formowane wtryskowo kubki, łyżki, widelce, tacki, powłoki papierowe, włókna lub szwy dla przemysłu włókienniczego, folie i różne inne artykuły formowane (Averous 2008). W 2018 r. zdolności produkcyjne dotyczące PLA były ponad siedmiokrotnie większe w porównaniu z PHA. W związku z tym na rynku znaleźć można o wiele więcej komercyjnych przykładów aplikacji tego polimeru.

**Rysunek 11.7.** Obecne ilości produkowanych bioplastików



Źródło: European Bioplastics, novaInstitute.

PLA można przetwarzać, stosując wiele technik. Jest ono dostępne komercyjnie i produkowane na skalę przemysłową w wielu krajach na całym świecie. Światowi producenci PLA to między innymi: NatureWorks (USA), Weforyou GmbH (Austria), Evonik Industries AG (Niemcy), Cargill (USA), Mitsui Chemical (Japonia), Shimadzu Corporation (Japonia), Treofan (Holandia), Galactic (Belgia), Boehringer Ingelheim (Niemcy), Total Corbion (Holandia), Phusis (Francja). Jedną z pierwszych firm, która wykorzystwała PLA jako materiał opakowaniowy, był Danone (Francja) do produkcji kubków jogurtowych na rynek niemiecki. Frito Lay wprowadził kompostowalne opakowania chipsów z PLA dla swojej marki Sunchips® w 2010 r. (*Chipmaker's...*). Torebki zostały jednak później całkowicie wycofane z rynku, jednym z powodów był powstający



zbyt głośny dźwięk podczas ich marszczenia i przenoszenia. W ostatnich latach wytwarzanie opakowań z PLA zwiększyło się w całej Europie, Japonii i USA, głównie do produktów świeżych o krótkim terminie przydatności do spożycia, takich jak ryby, owoce i warzywa (tabela 11.8).

**Tabela 11.8.** Wybrane przykłady materiałów do pakowania produkowanych z PLA

Znak towarowy/ marka handlowa/kraj	Zastosowanie	Uwagi
Tenova, Szwecja	Torebki sklepowe	Worki złożone z 45% wagowych PLA i 55% wagowych Ecoflex
Biota®, USA	Wody butelkowane	Reklamowane jako butelki biodegradowalne
Wal-Mart, USA	Opakowania – truskawki, brukselki	Reklamowane jako opakowania biodegradowalne
SPAR, Austria	Opakowania – ekologiczne gruszki, jabłka, pomidory	Reklamowane jako biodegradowalne opakowania z elastyczną pokrywką z PLA
Sieć hipermarketów Auchan, Francja	Opakowania – świeże sałatki	Reklamowane jako pojemniki biodegradowalne
Noble Juice, USA	Butelki na soki cytrusowe	100% biodegradowalne
Apple Inc., USA	Przedpłacone karty upominkowe iTunes	Aktualny status na rynku nieznanym
Reddi-Wip®, PAM®; ConAgra Foods, USA	Etykiety termokurczliwe	Wykonane z PLA pochodzącego z recyklingu
Shiseido-Urara, Chiny	Butelki szamponu	Korzystny odbiór na rynku chińskim, jako opcja przyjazna dla środowiska
Activia®, Danone, Niemcy	Kubki jogurtowe	Zmniejszony ślad węglowy o 25%, o 43% mniejsze zużycie zasobów kopalnych niż oryginalne opakowanie
Ceramis®, Szwajcaria	Przekąski (woreczki), owoce i warzywa (formowane termicznie), chleby (woreczki)	Powłoka z tlenku krzemu zapewniająca korzystniejsze właściwości barierowe
PURALACT®, Holandia	Jednorazowe kubki do gorących napojów	Możliwe wykorzystanie istniejącej linii produkcyjnej z PS do wytwarzania z PLA

Źródło: Castro-Aguirre i in. 2016.

Dzięki biodegradowalności PLA znalazło zastosowanie w wielu produktach, jak jednorazowe kubki, talerzyki i sztućce, worki z piaskiem, siatki przeciw chwastom, siatki do zastosowań ogrodniczych, donice, liny, taśmy wiążące (Jem i in. 2010). Na rynku brytyjskim pojawił się produkt ECO FOR LIFE®, butelki na wodę wykonane z PLA (Eco For Life...). Producent informuje, że podczas produkcji do atmosfery dostaje się 60% mniej gazów cieplarnianych oraz zużywane jest 50% mniej paliw kopalnych w porównaniu z produkcją tradycyjnych butelek. Inne komercyjne zastosowania PLA w przemyśle opakowań stanowią termokurczliwe folie i etykiety. Wymagania, jakie musi stawić materiał wykonany z PLA, to kurczliwość ze współczynnikiem skurczu wynoszącym 70% w temperaturze powyżej 60°C (Obuchi i Ogawa 2010). Z folii takich korzysta ConAgra Foods oraz produkowane i dostarczane przez EarthFirst dla Fleischmann's, Blue Bonnet i Parkay.

Kolejne komercyjne zastosowanie tworzywa sztuczne i biopolimery znajdują w przemyśle rolniczym. W celu ochrony gleby przed erozją oraz roślin przed chwastami, owadami i ptakami stosuje się folie mulczowe wyprodukowane z PLA. Materiał ten wykorzystywany jest również do konstrukcji systemów nawadniających czy do pokrywania tuneli szklarni. PLA jest odpowiednim materiałem do tego typu zastosowań, ze względu na swoje właściwości chemiczne: odporność na promieniowanie UV (lub transparentność dla UV) oraz hydrofobowy charakter (niska absorpcja wilgoci), co zapobiega utracie właściwości mechanicznych (np. sztywność, brak pełźnięcia) (Guerrini i in. 2017). Przykładowo, chińska firma Hubei Guanghe Bio-Tech Co. Ltd. ma w swej ofercie przyjazne dla środowiska i sprzyjające zrównoważonemu rozwojowi folie do mulczowania wykonane z PLA (*Bioplastic*...). Ponadto Hubei Guanghe współpracuje z innymi przedsiębiorstwami w dziedzinie produktów użytkowych, opracowuje serię produktów biodegradowalnych, takich jak naczynia jednorazowe, opakowania kosmetyków, opakowania do żywności, opakowania elektroniczne, akcesoria do golfa itp.

PLA wykorzystuje się również w przemyśle włókienniczym. Biovation opracowało jednorazowe chusteczki przeciwbakteryjne, stosując do tego włókna z PLA (*Nonwoven*...). PLA DryRight to materiał do suszenia obuwia, opracowany przez Biovation LLC dla armii amerykańskiej (korpusu piechoty morskiej), który może przyczynić się do eliminacji powstających infekcji grzybiczych (*DryRight*...). Jest wyprodukowany z ponad 50% materiałów biopolimerowych. Biopolimerowe włókna mają również ogromny potencjał aplikacyjny w branży samochodowej i odzieżowej oraz w innych zastosowaniach tekstylnych (Castro-Aguirre i in. 2016).

Produkcja kompostowalnych i degradowanych polimerów, jak PLA, jest istotna ze względu na zrównoważony rozwój oraz aspekty środowiskowe. PLA

stanowi alternatywę dla tradycyjnych polimerów nieulegających biodegradacji. Pomimo istniejących wciąż ograniczeń wynikających z jego właściwości materiałowych i ekonomicznych, przewiduje się dalszy wzrost zdolności produkcyjnej PLA, a prowadzone prace przyczynią się do coraz szerszego zastosowania tego polimeru.

Właściwości polihydroksyalkanianów, takie jak biodegradowalność i biokompatybilność, umożliwiają ich szerokie zastosowanie w medycynie, przemyśle opakowań, medycznym, farmaceutycznym, rolnictwie, a także w innych sektorach gospodarki (tabela 11.9). Ponadto bakteryjne PHA są optycznie czynne, izotaktyczne, piezoelektryczne, nierozpuszczalne w wodzie, dzięki czemu są wysoce konkurencyjne w stosunku do polietylenu czy polipropylenu (Abdullah i in. 2015).

**Tabela 11.9.** Możliwości aplikacyjne PHA

Zastosowanie	Przykłady
Przemysł opakowań	Materiały opakowaniowe używane przez krótki czas, w tym butelki, naczynia, folie, artykuły codziennego użytku, urządzenia elektroniczne i inne
Przemysł drukarski i fotograficzny	PHA to poliestry, które można łatwo zabarwić
Przemysł chemiczny	Chemo- i termoutwardzalne kleje, lateks, inteligentne żele
Przetwórstwo tworzyw sztucznych	PHA może być stosowany jako środek pomocniczy do przetwarzania tworzyw sztucznych
Przemysł włókienniczy	Podobnie jak w przypadku poliamidów z PHA można wytwarzać włókna
Substancje chemiczne	Wszystkie monomery PHA są chiralnymi formami R i mogą być stosowane jako chiralne materiały wyjściowe dla syntezy antybiotyków i innych chemikaliów
Żywność	Oligomery PHA można stosować jako suplementy diety do otrzymywania ciał ketonowych
Mikrobiologia przemysłowa	Operon syntezy PHA może być użyty jako regulator metaboliczny lub wzmacniacz odporności, poprawiając wydajność pracy szczepów przemysłowych
Biopaliwa/paliwa	PHA można hydrolizować z wytworzeniem hydroksyalkanianowych estrów metylowych, które są palne
Oczyszczanie białek	W celu oczyszczenia białek rekombinowanych stosuje się białka związane z powierzchnią granulek PHA
Systemy dostarczania leków	Koekspresja PhaP i specyficznych ligandów może pomóc w osiągnięciu leków dostarczanych w konkretne miejsce ze zmianami chorobowymi

Źródło: Sabbagh i in. 2013.

Polimery z grupy polihydroksyalkanianów są termoplastyczne, co umożliwia ich dalsze przetwarzanie tradycyjnymi metodami wykorzystywanymi w przetwórstwie tworzyw sztucznych, tj. przez wtrysk czy wytłaczanie. Najbardziej znane i zarazem dostępne na rynku w handlu polihydroksyalkaniany wymieniono w tabeli 11.10. Jak już wcześniej wspomniano, produkcja na skalę komercyjną PHA na świecie dopiero się rozwija, w kolejnych latach należy spodziewać się większej ilości producentów tych polimerów (rys. 11.7). W Polsce brakuje producenta wytwarzającego bakteryjne PHA. Jedynie w skali laboratoryjnej produkowane są one obecnie, między innymi w Krakowie przez grupę dr. Macieja Guzika w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN im. Jerzego Habera. Nadzieją na zmianę tej sytuacji jest rozpoczęta w maju 2019 r. realizacja grantu strategicznego TechMatStrateg „Technologia biorafinacji olejów roślinnych do wytwarzania zaawansowanych materiałów kompozytowych”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. W projekcie tym opracowana zostanie technologia produkcji i możliwość zastosowania polskiego PHA na skalę przemysłową.

**Tabela 11.10.** Produkcja PHA na świecie

Nazwa komercyjna	Producent	Kraj	Produkt
Biomer	Biomer	Niemcy	Biomer P209 Biomer P226 Biomer P240
Minerv-PHA	Bio-on	Włochy	MINERV-PHA™
Biogreen	Mitsubishi Gas	Japonia	Biogreen
Biocycle	PHB Industrial	Brazylia	BIOCYCLE 1000, BIOCYCLE 18BC-1, BIOCYCLE 189C-1, BIOCYCLE 189D-1
Ecogen	Tianan Biological Material Polyone	Chiny	ENMAT Y1000, ENMAT Y1000P, ENMAT Y3000, ENMAT Y3000P
Mirel	Metabolix	USA	Mirel P4001, Mirel P4010, Mirel P5001, Mirel P5004, Mirel M2100, Mirel M2200, Mirel M4100
Nodax	P&G Chemicals	USA/Japonia	Nodax™
Metabolix	Telles LLC	USA	Mvera™ B5011, Mvera™ B5010
Jiangsu Nantian	Jiangsu Nantian Group	Chiny	P(3HB)
Goodfellow	Goodfellow Cambridge Ltd	UK	Biopolymer (PHA), P(3HB-co-3HV) 12% – Biopolymer (PHB88/PHV12)
Tepha	Tepha Inc	USA	P(4HB)

Źródło: Bugnicourt i in. 201).

Największy segment gospodarki, w którym wykorzystywane są materiały polimerowe, stanowi przemysł opakowań. Tym samym wiele prac i badań skupia się na możliwym zastosowaniu PHA w tej dziedzinie rynku. Produkty takie muszą spełniać szereg wymagań, między innymi: zapewnienie ochrony przed kurzem i zanieczyszczeniami, przestrzeganie zasad dotyczących materiałów opakowaniowych klasy spożywczej, gwarantowanie jakości i trwałości żywności oraz odpowiednich właściwości mechanicznych, termicznych, barierowych i przepuszczalności (Jung 2014). Liczne badania nad polimerami z grupy PHA, ich kopolimerami i blendami sugerują, że mogą one z powodzeniem odpowiadać potrzebom opakowań do napojów, żywności, butelek, torebek czy pojemników kosmetycznych (Plackett i Siró 2011). Wciąż jednak głównym czynnikiem ograniczającym ich zastosowanie są relatywnie wysokie koszty produkcji i przetwarzania w porównaniu z konwencjonalnymi polimerami.

Pierwszą próbą komercjalizacji opakowań z PHA było wytworzenie pierwszego na świecie produktu całkowicie biodegradowalnego, butelek szamponu Wella (Niemcy), wykorzystano do tego Biopol (Hartley Yee i Foster 2015). Niestety, pomimo chęci przyjęcia tego przyjaznego dla środowiska produktu, wysokie koszty produkcji i nieopłacalność długoterminowego wdrożenia spowodowały, że projekt zakończył się w fazie pilotażowej i nie był kontynuowany. Mimo to zainteresowanie bakteryjnymi polimerami w następnych latach cały czas rosło i poszukiwano sposobów minimalizacji kosztów ich wytwarzania.

Dzięki temu swoją działalność rozpoczęła amerykańska firma Cove, która pod koniec 2019 r. umożliwiła zakup pierwszych w pełni degradowanych butelek na wodę w Nowym Jorku oraz innych miastach USA (Cove). Cena jednej butelki powinna wynosić maksymalnie 2 USD, a opakowanie z 12 sztukami 24 USD. Jak informuje producent, Cove ma być pierwszą butelką na wodę wykonaną w całości z biodegradowalnych materiałów. Butelka i nakrętka wyprodukowane są z naturalnie występującego biopolimeru PHA. Etykieta jest wykonana z papieru, nietoksycznych farb i klejów. Co więcej, produkt jest wolny od BPA (Bisfenol A), wzbudzającej kontrowersje substancji chemicznej stosowanej jako dodatek do wytwarzania niektórych tworzyw sztucznych i żywic, mogącej mieć niekorzystny wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt, być przyczyną niektórych chorób oraz powodującej zanieczyszczenie środowiska (*Human Exposure... 2007, Bisphenol... 2018*). Okres przydatności butelki wynosi 6 miesięcy, może być ona przez ten czas wielokrotnie uzupełniana wodą, a po zakończeniu użytkowania należy ją umieścić w pojemniku na kompost (bioodpady) lub inne odpady zmieszane, gdzie ulegnie całkowitej degradacji.

Kolejnym producentem biodegradowalnych plastików jest firma Nestlé, będąca jednym z największych na świecie przedsiębiorstw spożywczych oraz globalnym liderem zajmującym się produkcją żywności dla niemowląt, żywności

medycznej, produktów mlecznych, kaw i herbat, wód butelkowych, wyrobów cukierniczych, lodów, mrożonek czy karmy dla zwierząt domowych. Na podstawie informacji prasowej opublikowanej 15 stycznia 2019 r. Nestlé wraz z Danimer Scientific, wiodącym producentem biodegradowalnych produktów z tworzyw sztucznych, ogłosili partnerstwo na rzecz rozwoju produkcji biodegradowalnych butelek. Współpraca zakłada projektowanie i produkowanie biożywic z wykorzystaniem polimeru z grupy PHA Nodax<sup>TM</sup> przez firmę Danimer Scientific, będącego alternatywą dla petrochemicznych tworzyw sztucznych. Ponadto, obecny partner Danimer Scientific, PepsiCo również może uzyskać dostęp do żywic opracowanych w ramach tej współpracy. W 2018 r. Nestlé ogłosiło zobowiązanie do recyklingu lub ponownego wykorzystania 100% wytwarzanych przez nich opakowań do 2025 r. Maurizio Patarnello, dyrektor generalny Nestlé Waters, zapewnił, że Nestlé Waters jest zaangażowane w rozwiązywanie problemu rosnących globalnych odpadów z tworzyw sztucznych, a biodegradowalne butelki, które również nadają się do recyklingu, mogą przyczynić się do poprawy stanu środowiska obecnie borykającego się z problemem nadmiernej ilości odpadów z tworzyw sztucznych.

PHA zostały również zastosowane do produkcji folii opakowaniowych, toreb na zakupy, pojemników i powłok papierowych, artykułów jednorazowego użytku, takich jak maszynki do golenia, naczynia, sztucce, przybory kuchenne, pieluchy, produkty higieny kobiecej, pojemniki kosmetyczne i kubki, a także znalazły zastosowanie do celów medycznych: produkcji odzieży chirurgicznej, mat, pokryć czy opakowań (*PHA Biopolyester...* 2016). Przykładowe produkty zostały wytworzone przez firmy: Metabolix (USA), Biomer (Niemcy), BASF SE (Niemcy), P&G Chemicals (USA), ICI (UK), czy BIOPOL (Brazylia).

Metody drukowania trójwymiarowego (3D) stanowią obecnie alternatywę dla tradycyjnych metod przetwarzania polimerów w produkcji różnych produktów, takich jak przedmioty użytkowe i artystyczne, prototypy dla przemysłu motoryzacyjnego czy elektroniki, w medycynie – podłoża dla medycyny regeneracyjnej, sztuczne tkanki i narządy oraz wiele innych. Filamenty do drukarek 3D z PHA również znalazły zastosowanie w tej dziedzinie (Chiulan i in. 2017). Producenci oferujący w swojej ofercie filamenty z PHA i kompozytów PLA/PHA to między innymi Zortrax (Polska), colorFabb (Holandia), 3D Printlife (USA).

Obiecujące wydaje się wykorzystanie PHA jako prekursorów biopaliw. Tak samo jak bioetanol z cukrów – PHA można przekształcić w biopaliwa odnawialne. Na drodze hydrolizy PHA, a następnie estryfikacji, otrzymywane są estry metylowe 3-hydroksyalkanianów o zdolności uzyskania energii porównywalnej z bioetanolem (Zhang i in. 2009, Jiang i in. 2016). Możliwa produkcja PHA w ramach biorafinerii umożliwi przemysłowi biorafineryjnemu produkcję

innowacyjnych biopolimerów i biopaliw, tak samo jak nowoczesny przemysł petrochemiczny oparty na ropie naftowej.

Podsumowując, syntetyzowane przez bakterie PHA są przyjaznymi dla środowiska, trwałymi materiałami, które można wykorzystać do częściowego zastąpienia tworzyw sztucznych na bazie ropy naftowej. W chwili obecnej są one znacznie mniej konkurencyjne w porównaniu z konwencjonalnymi polimerami, głównie ze względu na wysokie koszty produkcji. Do tej pory zsyntetyzowano różnorodne PHA, takie jak: kopolimery blokowe i polimery szczepione oraz blendy o szerokich właściwościach fizycznych i mechanicznych, tym samym rozszerzając zastosowania PHA. W celu zmniejszenia kosztów produkcji zbadano wykorzystanie niskokosztowych substratów będących tanim źródłem węgla, takie jak glukoza, sacharoza, maltoza, biomasa celulozowa, serwatka. Rozwój nowych technologii oraz rosnąca świadomość społeczna potrzeby ochrony środowiska i nowe akty prawne ograniczające powstawanie odpadów z tworzyw sztucznych dają szansę rozwoju tych bakteryjnych polimerów.

## 11.5. Zastosowanie biopolimerów i ich pochodnych w medycynie

Polilaktyd jest jednym z najbardziej prosperujących materiałów polimerowych stosowanych w różnych gałęziach medycyny. Pierwszy biodegradowalny stent oparty na niciach PLLA opracowano w latach 80. XX w. przez Duke Medical Cente. Miał on zdolność zachowania swojej wytrzymałości w środowisku soli fizjologicznej przez 30 dni (Albertsson i Varma 2003). Na bazie PLA i jego kopolimerów wytwarzane są materiały, które mają zastosowanie jako szwy chirurgiczne czy materiały wykorzystywane w stomatologii (Hamad i in. 2015). Szerokie możliwości zastosowań tego polimeru w medycynie wynikają z jego biokompatybilności, jak również z biodegradacji, która może zachodzić w ludzkim ciele, w trakcie której powstają nieszkodliwe produkty (kwas mlekowy), niewywołujące stanów zapalnych w otaczających komórkach i tkankach, a normalnie występujące w ludzkim ciele (Gunatillake i in. 2003). Rusztowania wykonane z polilaktydu znajdują zastosowania w hodowlach różnych typów komórek, także takich niezbędnych w terapii genowej chorób układu krążenia, schorzeń ortopedycznych i neurologicznych, jak również w regeneracji narządów, takich jak: pęcherz, układ szkieletowy (kości, chrząstki) oraz ścięgna, więzadła i skóra (Lasprilla i in. 2012). Wykazano również, że PLA mógłby być doskonałym materiałem do sporządzania rusztowań do regeneracji tkanki kostnej, jednakże – ze względu na jego kruchość czy słabe właściwości mechaniczne, materiały wykonane z tego polimeru nie są zdolne do przenoszenia dużych

obciążen. Aby wyeliminować ten problem, wytwarzano blendy, kompozyty oraz kopolimery, bazując na poli(kwasie mlekowym) (Hamad i in. 2015). Doskonale zaprojektowane rusztowanie komórkowe ma możliwość równomiernej adhezji na swojej powierzchni jak największej liczby komórek, która początkuje wzrost nowej tkanki, zapobiegając odrzutowi wszczepianego implantu. Proliferacja, różnicowanie i migracja komórek zależy od interakcji komórek oraz wzrastających tkanek z powierzchnią polimeru. Poza tym bardzo istotnymi czynnikami są właściwości powierzchni, tj. sztywność, szorstkość, jak również hydrofobowość/hydrofilowość, energia swobodna oraz obecność pożądaných grup chemicznych (Albertsson i Varma 2003). W związku z tym bardzo istotny jest odpowiedni dobór drugiego polimeru wchodzącego w skład blendy, odpowiedniego środka bioaktywnego bądź właściwa modyfikacja powierzchni polimeru. Aby zwiększyć hydrofilowość powierzchni, przygotowano kopolimery PLA z poli(glikolem etylenowym) (PEG) bądź modyfikowano powierzchnię polimeru poprzez obróbkę plazmową (Wan i in. 2003, Chim i in. 2003). Wykazano również, że produkty wykonane z PLLA mogą być wszczepiane do organizmów żywych, nie powodując odrzutów, jak też określono, że śruba wykonana z PLLA, wszczepiona w kość piszczelową świni nie skutkowała powstawaniem ziarniaków i przetok przez okres 3 lat. Po upływie tego czasu znaleziono tylko niewielkie pozostałości pochodzące z produktów rozkładu polimeru. Jednocześnie udowodniono, że stosowanie śrub z PLLA nie wiąże się z żadnymi skutkami ubocznymi (Hasegawa i in. 2002). Jedną z najbardziej obiecujących możliwości zastosowań PLA są systemy dostarczania leków, w postaci mikrokapsulek, mikrosfer bądź cienkich powłok. PLLA w postaci mikrosfer jest wykorzystywany jako tymczasowe wypełnienia w chirurgii rekonstrukcji twarzy. Polimer ten został także zastosowany jako materiał zatorowy wywołujący embolizację tętnic w celu opanowania przetok, wad rozwojowych, masywnych krwotoków oraz guzów (Davachi i Kaffashi 2015). Mikrosfery i mikrokapsułki PLA oraz PLGA są stosowane jako nośniki wielu substancji medycznych, tj. środków antykoncepcyjnych, antagonistów narkotyków, środków miejscowo znieczulających i szczepionek (Davachi i Kaffashi 2015). Nanocząstki wykonane z PLA, jak również z jego kopolimerów, są wykorzystywane w kapsulacjach substancji biologicznie czynnych, takich jak: oridoniny, restenozy, środków psychotycznych oraz hormonów (Hamad i in. 2015).

W przypadku wytworów polimerowych o zastosowaniach biomedycznych ważne jest, aby produkty ich rozkładu, tj. oligomery oraz monomery, nie były szkodliwe dla otaczających komórek i tkanek (Shrivastav i in. 2013). PHA, takie jak P(3HB) i ich produkty rozpadu, czyli 3-hydroksykwasy, znaleziono w wielu organizmach, od bakterii po wyższe ssaki. Ponadto kwas (*R*)-3-hydroksymasłowy jest naturalnym składnikiem krwi w stężeniach między 0,3 a 1,3 mM.



Oznacza to, że PHA są doskonałymi materiałami biozgodnymi, w związku z czym mogą one zostać z powodzeniem zastosowane do konstrukcji rusztowań komórkowych, biodegradowalnych szwów, opatrunków na rany oraz systemów dostarczania leków (Chen i Wu 2005, Zinn i in. 2001). Badania *in vitro* oraz *in vivo* wykazały, że spośród różnych PHA – P(3HB-co-3HHx) zachowuje fenotyp chondrocytowy, ze względu na sprzyjanie powstawaniu specyficznej dla chondrocytów macierzy zewnątrzkomórkowej (ECM), jak i kolagenu typu II oraz promowaniu wytwarzania siarczanowanych glikozaminoglikanów (sGAG) (Deng i in. 2003). Niewątpliwą zaletę polimeru takiego jak P(3HB) stanowią jego właściwości piezoelektryczne, które są zbliżone do właściwości charakteryzujących kości (van der Walle i in. 2001). W związku z tym PHA zostały przetestowane pod kątem zastosowania w inżynierii ubytków tkanki kostnej, a wyniki badań nie wykazały przewlekłego zapalenia nawet po roku użytkowania. Dodatkowo wykazano, że proces nowotworzenia nastąpił bardzo szybko w przypadku kompozytów P(3HB)/hydroksyapatyt (Porter i in. 2013). Odnotowano również, że polimery PHA znajdują szerokie zastosowanie do konstrukcji urządzeń do regeneracji tkanki nerwowej, materiałów opatrunkowych, łat sercowo-naczyniowych, zaworów żylnych-tętnicznych, szpilek ortopedycznych, barier adhezyjnych, materiałów do naprawy ścięgien, rusztowań szpiku kostnego, stentów sercowo-naczyniowych oraz inżynierii tkankowej (Shrivastav i in. 2013, Chen i Wu 2005, Hazer 2010, Valappil i in. 2006).

W związku z szerokim zainteresowaniem przemysłu biomedycznego polimerami PHA oceniono również hemokompatybilność tych polimerów, poprzez inkubację folii P(3HB) oraz P(3HB-co-3HV) z krwią ssaków, podczas której wykazano, że P(3HB) oraz P(3HB-co-3HV) w kontakcie z krwią nie wywoływał negatywnych reakcji (Shrivastav i in. 2013). Pierwszym pozytywnie zaopiniowanym przez amerykańską Agencję Żywności i Leków (FDA) materiałem wykonanym z PHA był TephafLEX, który jest absorbowalną nicią chirurgiczną wykonaną z P(4HB). Istnieją inne komercyjnie dostępne produkty wykonane z PHA, tj. GalaFLEX, wykonane z P(4HB) i przeznaczone do chirurgii rekonstrukcyjnej, plastycznej oraz wzmacniania tkanek miękkich, jak również MonoMax Suture – do regeneracji tkanek miękkich, BioFiber – do naprawy ścięgien oraz Phasix Mesh – do regeneracji przepukliny (Williams i in. 2016). Ze względu na biokompatybilność i biozgodność, jak również hydrofobowość PHA, mogą być wykorzystane jako systemy dostarczania leków w postaci mikrokapsulek, mikrosfer oraz nanocząstek (Shrivastav i in. 2013). W trakcie badań uwalniania antybiotyków, takich jak gentamycyna oraz sulperazon, z pałeczek skonstruowanych z P(3HB-co-3HV) zaobserwowano ciągłe uwalnianie tychże leków przez dwa tygodnie oraz udowodniono, że zawartość dłuższych monomerów PHA sprzyja wydłużaniu czasu uwalniania leków (Gursel i in. 2002).

Dowiedziano również, że mniejsza krystaliczność PHA skutkuje bardziej kontrolowanym uwalnianiem leków do otaczających tkanek. Przykładem była mieszanina P(3HHx-co-3HO) z lekiem tamulosin, która charakteryzowała się lepszym przenikaniem substancji aktywnej do skóry w porównaniu z mieszaniną leku z krótkołańcuchowym, wysoko krystalicznym poli-3-hydroksymaślanem P(3HB) (Wang i in. 2003). Istnieją również prace nad enzymatyczną modyfikacją polimerów PHA lekami takimi, jak diklofenak, który jest niesteroidowym lekiem przeciwzapalnym, z użyciem lipaz. Uzyskanie trwałego, chemicznego połączenia pomiędzy lekiem oraz polimerem może skutkować długotrwałym uwalnianiem leku, a skonstruowanie na bazie takiego materiału opatrunków na rany bądź rusztowań komórkowych pozwala uwalniać go bezpośrednio do pożądanego miejsca w organizmie (Harażna i in. 2019).

**Przykładem zastosowań hydroksykwasów i ich pochodnych w medycynie jest kwas mlekowy**, będący składową PLA, ważny związek również w formie monomeru. Najbardziej znaczącą rolę kwas ten odgrywa w przewodzie pokarmowym, gdzie odpowiada za utrzymanie prawidłowego środowiska dla naturalnej mikroflory, a jednocześnie prowadzi do niszczenia patogennych mikroorganizmów poprzez denaturację ich białek wewnątrzkomórkowych (Mojka 2014). Naturalnymi bakteriami produkującymi kwas mlekowy w organizmie ludzkim są bakterie z rodzaju *Lactobacillus* i *Bifidobacterium*. W zaburzeniach flory bakteryjnej, spowodowanej stosowaniem antybiotyków czy infekcjami przewodu pokarmowego, powszechnie stosowane są probiotyki zawierające bakterie kwasu mlekowego (LAB) lub przetwory bogate w bakterie oraz kwas mlekowy (Kubiszewska i in. 2014). Kwas 2-hydroksypropanowy jest również ważnym składnikiem leków dopochwowych stosowanych przy infekcjach dróg rodnych. Dodatkowo kwas mlekowy znalazł zastosowanie w kosmetologii, w szczególności stanowi on ważny składnik płynów do higieny intymnej, przywracający fizjologiczne pH, a także wielu kremów nawilżających i preparatów złuszczejących naskórek.

Depolimeryzacja zsyntetyzowanego w bakteriach PHA dostarcza chiralnie czystych monomerów, będących zawsze enancjomerami (*R*)-3-hydroksykwasów. Aktywne optycznie monomery stanowią cenne źródło syntonów, zwłaszcza dla rynku farmaceutycznego (Roo i in. 2002). Obecnie znanych jest ok. 155 różnych monomerów, które można otrzymać z bakteryjnych PHA (Agnew i Pflieger 2013). Są to monomery mające rozliczne grupy funkcyjne, takie jak: estrowa, nitrylowa, aminowa, fenyłowa, karboksylowa, nitrozowa, a także metylowa, ketonowa, acetylotioestrowa, fluorofenoksyłowa i wiele innych (Roo i in. 2002, Agnew i Pflieger 2013).

W zależności od grupy funkcyjnej (*R*)-3-hydroksykwasów charakteryzują się różnorodnymi właściwościami fizjologicznymi, co pozwala na ich wszechstronne

wykorzystanie w wielu dziedzinach medycznych. Jedną z odkrytych właściwości monomerów PHA jest ich działanie bójcze względem bakterii, wirusów, a także grzybów. Przykładem takich monomerów są kwasy (*R*)-3-hydroksy-n-fenylalkanowe o różnych długości łańcucha, skuteczne w walce z *Listeria monocytogenes*, *L. ivanovii*, *L. innocua* przy stężeniach 3–6 mM (Sandoval i in. 2005). Halogenowane monomery alifatyczne wykazują, oprócz aktywności antybakteryjnej silny potencjał antygrzybiczny przeciwko takim gatunkom jak *Candida albicans* oraz *Microsporium gypseum* (Radivojevic i in. 2015).

Niezwykle ciekawymi właściwościami odznacza się monomer popularnego w sektorze opakowań spożywczych polimeru PHB. Badania nad kwasem 3-hydroksymaślanu (3-HB) wykazały, że zwiększa on znacząco aktywność metaboliczną komórek nerwowych mózgu oraz poprawia komunikację międzykomórkową neuronów, dlatego wpływa na takie procesy, jak uczenie się i zapamiętywanie (Zou i in. 2009). Wykazano również, że ester metylowy tego monomeru łatwiej przekracza barierę krew – mózg aniżeli kwas i dodatkowo stanowi alternatywę dla glukozy w szlaku metabolicznym komórek nerwowych. Z uwagi na doniesienia, że metabolizm glukozy w mitochondriach osób dotkniętych chorobą Alzheimera jest znacznie zaburzony, 3-HB został zaproponowany jako potencjalny lek w walce z tą chorobą (Zhang i in. 2013).

3-hydroksymaślan jest ponadto związkiem naturalnie występującym w organizmach zwierzęcych, jako jedno z ciał ketonowych powstających w procesie ketogenezy (Robinson i Williamson 1980). Monomer 3-HB może zatem stanowić wysokoenergetyczny substrat w metabolizmie różnych komórek ssaczych. Mając możliwość sterowania poziomem ciał ketonowych w organizmie, może skutecznie leczyć takie dolegliwości, jak: oparzenia, niedotlenienie mózgu, pozawałowe uszkodzenia serca (Zou i in. 2015) czy wstrząs krwotoczny. Dodatkowo wykazano, że 3-HB, a także ester kwasu 3-hydroksymaślanowego może być wykorzystywany do leczenia osteoporozy, ponieważ związki te wpływają na gwałtowny wzrost jonów wapnia w cytozolu komórek przez kanały wapniowe typu L, co ma duże znaczenie w procesie naprawy kości (Cao i in. 2014, Zhao i in. 2007).

## 11.6. Przyszłe obszary zastosowań polimerów zbudowanych z hydroksykwasów

Polimery otrzymywane na drodze procesów biotechnologicznych mogą zostać poddane kontrolowanym reakcjom depolimeryzacji, w wyniku których można otrzymać mieszaninę oligodiolów (Adamus i in. 2017). Alkohole wielowodorotlenowe znajdują zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Są one między innymi wykorzystywane na szeroką skalę jako składnik przeróżnych kompozycji

polimerowych, jak również jako substrat w reakcjach polimeryzacji/polikondensacji/poliaddycji prowadzących do otrzymywania konwencjonalnych polimerów. Istnieją szeroko zakrojone badania nad otrzymywaniem alkoholi wielowodorotlenowych z pokonsumpcyjnych, odpadowych produktów pochodzących między innymi z przemysłu spożywczego, tj. oleje posmażalnicze (Kurańska i Prociak 2016). Jednakże ciekawą alternatywą mogłoby być wykorzystanie takich związków pochodzących z dekompozycji polimerów jak bakteryjne poliestry do produkcji poliuretanów, które są jednym z najszerzej wykorzystywanych polimerów (Geyer i in. 2017). Znajdują one zastosowanie jako materiały izolacyjne, zarówno w budownictwie, jak i w przemyśle meblarskim (materace), jak również w medycynie, w konstrukcji sztucznych organów (Kawakami 2008, Akindoyo i in. 2016).

Ze względu na szerokie ograniczenia związane ze szkodliwością konwencjonalnych polimerowych systemów powłokowych zarówno dla zdrowia człowieka, jak i otaczającego środowiska, coraz większą uwagę zwraca się na produkty zawierające w swoim składzie nietoksyczne, pochodzące ze środowiska naturalnego komponenty. Dimery, jak również trimeryczne cząsteczki konwencjonalnych i pochodzących z olejów roślinnych kwasów znajdują szerokie zastosowanie w produkcji materiałów powłokowych oraz klejów, żywic, smarów i nietoksycznych plastyfikatorów. Ciekawym zastosowaniem mogłoby być użycie w tym celu odpowiednio zmodyfikowanych cząsteczek kwasów hydroksyloowanych pochodzących z depolimeryzacji PHA oraz PLA (Hayes i Dumont 2016, McKeon 2016). Jednakże w systemach powłok polimerowych nie zawsze istnieje możliwość wymiany konwencjonalnie stosowanych cząsteczek na te biopochodne. Wiąże się to z faktem, że kompozycje stosowane w systemach powłokowych muszą charakteryzować się trwałością oraz odpornością na warunki atmosferyczne, a kwasy hydroksylowane są biodegradowalne. Modyfikacja takich cząsteczek w celu zmodyfikowania ich biodegradowalności mogłaby być obiecującym podejściem.

Estry metylowe kwasów 3-hydroksykarboksylowych ze względu na owocowy, słodki zapach mogłyby być dodatkiem do żywności bądź ciekawym składnikiem kompozycji zapachowych stosowanych w przemyśle perfumeryjnym, farmaceutycznym, jak również kosmetycznym (McGinty i in. 2012, Gupta i in. 2015). Ze względu na niewielką ilość i kosztowną izolację tych substancji biośrodku zapachowe nie są w chwili obecnej wykorzystywane na szeroką skalę. Dzięki niewielkim kosztom ponoszonym na syntezę, jak również dużą wydajność procesu transestryfikacji estry metylowe kwasów tłuszczowych pochodzących z dekompozycji biopolimerów mogłyby stanowić ciekawe źródło znanych, jak też zupełnie nowych, zapachów, mogących znaleźć zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu (Radiojevic i in. 2015).

W pracy (Harażna i in. 2019) opisano zastosowanie cząsteczek pochodzących z depolimeryzacji PHA do sporządzania mieszanin mających zastosowanie

jako przyjazne środowisku substytuty rozpuszczalników organicznych, nazywanych głęboko eutektycznymi rozpuszczalnikami – *deep eutectic solvents* (DES). Zastosowanie w tychże mieszaninach jako akceptorów wiązania wodorowego związków również niewykazujących toksyczności względem ludzkiego organizmu (np. mentol) bądź będących jego metabolitami, jak chlorek choliny, jest obiecującym podejściem (Harażna i in. 2019, Ribeiro i in. 2015). Na chwilę obecną mieszaniny DES oparte na ropopochodnych cząsteczkach budulcowych w literaturze opisywane są jako mieszaniny umożliwiające zwiększanie rozpuszczalności leków, które tradycyjnie mają ograniczoną rozpuszczalność w środowisku wodnym (Morrison i in. 2009). Istnieją również doniesienia dotyczące projektowania mieszanin terapeutycznych głęboko eutektycznych rozpuszczalników jako systemów kontrolowanego dostarczenia leków – *therapeutical deep eutectic solvents* (Aroso i in. 2015). Stwarza to szerokie możliwości zastosowania mieszanin opartych na cząsteczkach kwasów hydroksykarboksylowych w projektowaniu zarówno naturalnych, jak i terapeutycznych mieszanin głęboko eutektycznych rozpuszczalników.

Cząsteczki pochodzące z dekompozycji opisywanych w rozdziale biodegradowalnych polimerów mogą w przyszłości znaleźć zastosowanie jako biosurfaktanty bądź substancje wyjściowe do syntezy tychże związków. Na chwilę obecną do syntezy takich związków, jak też bez uprzedniej modyfikacji, wykorzystuje się już cząsteczki pochodzenia naturalnego, takie jak: kwasy tłuszczowe (zazwyczaj oleje roślinne), przeróżne węglowodory i aminokwasy. Zastosowanie hydroksylowanych związków, pochodzących z rozkładu opisywanych biopolimerów, mogłoby skutkować otrzymaniem związków, które charakteryzowałyby się unikalnymi właściwościami i mogłyby zastąpić surfaktanty, których produkcja opiera się na ropopochodnych związkach (Desai i Banat 1997).

W trakcie biosyntezy PHA wiele białek przyczepia się do powierzchni wewnątrzkomórkowych granulek PHA. Należą do nich: syntaza PHA (PhaC), polimeraza PHA (PhaZ), białka związane z granulami (PhaP), białka represorowe (PhaR). Białka represorowe syntezy PHA, takie jak PhaR, mają amfifilowy charakter, a badania wykazały, że oczyszczony PhaR ma wyższą zdolność emulgowania niż tradycyjnie stosowane surfaktanty, takie jak: Tween 20 oraz SDS (dodecylosiarczan sodu). Jednakże wykazano również, że nieoczyszczony PhaR, zawierający natywne ciała inkluzyjne oraz pozostałości komórkowe, może być stosowany jako surfaktant, a dodatkowo dowiedziono jego wysokiej stabilności termicznej, której granica wynosiła 95°C. Kolejną zaletą lipoprotein pochodzących ze szlaku syntezy PHA jest oporność przeciwko bakteriom gram dodatnim oraz gram ujemnym, przez co może być stosowany jako środek powierzchniowo czynny w przemyśle spożywczym, kosmetycznym czy farmaceutycznym (Ma i in. 2013, Myers 2006).

W kosmetykach jako jeden z podstawowych składników mieszanin złączających szeroko stosowany jest kwas salicylowy. Jednakże podobne właściwości wykazują inne kwasy alfa- i beta- hydroksylowe, takie jak kwas mlekowy oraz kwas 3-hydroksymasłowy. W przyszłości inne (*R*)-3-hydroksykwasy, pochodzące z depolimeryzacji opisywanych polimerów, mogłyby zostać przebadane pod kątem zastosowania jako substancja złączająca mieszanin kosmetycznych (Arif 2015, Kapuscinska i Nowak 2015). Jedną z często występujących przypadłości jest atopowe zapalenie skóry, które przez swoje objawy znacząco utrudnia normalne funkcjonowanie człowieka. W celu zminimalizowania objawów choroby stosuje się kosmetyki zawierające bardzo dużą ilość środków nawilżających. Do najczęściej stosowanych substancji należy lanolina, oleje mineralne i oliwa z oliwek (Hon i in. 2018). Jednakże odpowiedni dobór substancji mających właściwości jednocześnie silnie nawilżające i przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze oraz przeciwzapalne jest wyzwaniem, które stoi przed współczesnym przemysłem kosmetycznym. Otrzymanie takich substancji byłoby możliwe dzięki wykorzystaniu cząsteczek pochodzących z depolimeryzacji PHA, ze względu na fakt, że cząsteczki aromatycznych kwasów hydroksylowanych mają właściwości przeciwbakteryjne, a ich dodatkowa modyfikacja wprowadzająca w skład cząsteczki atomu fluoru nadaje im również właściwości grzybobójcze (Sandoval i in. 2005, Radivojevic i in. 2015).

Bardzo przyszłościowym zastosowaniem opisywanych w rozdziale biopolimerów mogłoby być wykorzystywanie na skalę przemysłową mieszanin fizycznych (blend) z innymi konwencjonalnymi, opartymi na ropie naftowej, niebiodegradowalnymi polimerami. Pozwoliłoby ono zmniejszyć znacząco koszty finalnych produktów, a jednocześnie umożliwiłoby otrzymanie nowych, ciekawych właściwości. Dodatkowo po użytkowaniu część materiałów uległaby degradacji dzięki zmniejszeniu ilości zalegających na wysypiskach tworzyw sztucznych (Hamad i in. 2014). Dodatkowo takie blendy, jak również same biopolimery mogłyby zostać wykorzystane jako matryca w sporządzaniu kompozytów jak również nanokompozytów polimerowych z przeróżnymi napełniaczami zarówno naturalnymi, jak i syntetycznymi, o wielkościach mikro-, jak i nanometrycznych – w zależności od finalnego zastosowania otrzymywanych przedmiotów (Hamad i in. 2014, Dixit i in. 2017).

## Podziękowania

Katarzyna Haraźna i Justyna Prajsnar dziękują za dofinansowanie w ramach projektu InterDokMed numer POWR.03.02.00-00-I013/16. Dziękujemy również Narodowemu Centrum Nauki i Rozwoju za środki finansowe w ramach programów Lider (LIDER/27/0090/L-7/15/NCBR/2016) i TECHMATSTRATEG2/407507/1/NCBR/2019.

## Literatura

- A. Holmes P. (1988), *Biologically Produced (R)-3-Hydroxyalkanoate Polymers and Copolymers*, [w:] *Developments in Crystalline Polymers*, Springer, Dordrecht.
- Abdullah A.A.-A., Huong K.-H., Ramachandran H. (2015), *Microbial-based Polyhydroxyalkanoates*, Smithers Rapra.
- Abe H., Doi Y. (1999), *Structural Effects on Enzymatic Degradabilities for Poly[(R)-3-hydroxybutyric acid] and its Copolymers*, „International of Biological Macromolecules”, vol. 25.
- Adamus G., Kurcok P., Radecka I., Kowalczyk M. (2017), *Bioactive Oligomers from Natural Polyhydroxyalkanoates and Their Synthetic Analogues*, „Polimery/Polymers”, vol. 62.
- Adsul M. i in. (2007), *Production of Lactic Acid from Cellobiose and Cellotriose by Lactobacillus delbrueckii Mutant Uc-3*, „Applied and Environmental Microbiology”.
- Agnew D.E., Pflieger B.F. (2013), *Synthetic Biology Strategies for Synthesizing Polyhydroxyalkanoates from Unrelated Carbon Sources*, „Chemical Engineering Science”, vol. 103.
- Akindoyo J.O. i in. (2016), *Polyurethane Types, Synthesis and Applications – A Review*, „RSC Advances”, vol. 6.
- Albertsson A.C., Varma I.K. (2003), *Recent Developments in Ring Opening Polymerization of Lactones for Biomedical Applications*, „Biomacromolecules”, vol. 4.
- Albuquerque M.G.E., Eiroa M., Torres C., Nunes B.R., Reis M.A.M. (2007), *Strategies for the Development of a Side Stream Process for Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production from Sugar Cane Molasses*, „Journal of Biotechnology”, vol. 130.
- Albuquerque M.G.E., Torres C.A.V., Reis M.A.M. (2010), *Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production by a Mixed Microbial Culture Using Sugar Molasses: Effect of the Influent Substrate Concentration on Culture Selection*, „Water Research”, vol. 44.
- Alexandratos N., Bruinsma J. (2012), *World Agriculture Towards 2030/2050 The 2012 Revision*, ESA Work. Pap. No. 12-03. Rome, FAO.
- Ali I., Jamil N. (2016), *Polyhydroxyalkanoates: Current Applications in the Medical Field*, „Frontiers in Biology”, vol. 11.
- Almazan O., Gonzalez L., Galvez L. (1998), *Maurice Paturau Memorial Lecture Keynote Address the Sugar Cane, its By-Products and Co-Products Asociacion de Tecnicos Azucareros de Cuba*, „Agricultural and Food Research Council”.
- Alsafadi Othman Al-Mashaqbeh D. (2016), *A One-stage Cultivation Process for the Production of Poly-3-(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) from Olive Mill Wastewater by Haloferax Mediterranei*, „New Biotechnology”.
- Amulya K., Jukuri S., Mohan S.V. (2015), *Sustainable Multistage Process for Enhanced Productivity of Bioplastics from Waste Remediation Through Aerobic Dynamic Feeding Strategy: Process Integration for Up-scaling*, „Bioresource Technology”.
- Amulya K., Reddy M.V., Rohit M.V., Mohan S.V. (2015), *Wastewater as Renewable Feedstock for Bioplastics Production: Understanding the Role of Reactor Microenvironment and System pH*, „Journal of Cleaner Production”.

- Anjum A. i in. (2016), *Microbial Production of Polyhydroxyalkanoates (PHAs) and its Copolymers: A Review of Recent Advancements*, „International of Biological Macromolecules”, vol. 89.
- Arif T. (2015), *Salicylic Acid As a Peeling Agent: A Comprehensive Review*, „Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology”, vol. 8.
- Aroso I.M. i in. (2015), *Design of Controlled Release Systems for THEDES – Therapeutic Deep Eutectic Solvents, Using Supercritical Fluid Technology*, „International Journal of Pharmaceutics”, vol. 492.
- Auras R., Harte B., Selke S. (2004), *An Overview of Polylactides as Packaging Materials*, „Macromolecular Bioscience”, vol. 4.
- Avérous L. (2008), *Poly(lactic Acid): Synthesis, Properties and Applications*, in „Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources”, Elsevier Science.
- Babu R.P., Connor K.O., Seeram R. (2013), *Current Progress on Bio-based Polymers and Their Future Trends*, „Progress in Biomaterials”, vol. 8.
- Barham P.J., Organ S.J. (1994), *Mechanical Properties of Polyhydroxybutyrate-hydroxybutyrate-hydroxyvalerate Copolymer Blends*, „Journal of Materials Science”, vol. 29.
- Basset N. i in. (2016), *Bioresource Technology Integrating the Selection of PHA Storing Biomass and Nitrogen Removal Via Nitrite in the Main Wastewater Treatment Line*, „Bioresource Technology”, vol. 200.
- Basu A., Nazarkovsky M., Ghadi R., Khan W., Domb A.J. (2017), *Poly(lactic acid)-based Nanocomposites*, „Polymers for Advanced Technologies”, vol. 28.
- Bioplastic Agricultural Mulching Film*, PLA agricultural stretch film (by Hubei Guanghe Bio-Tech Co., Ltd.).
- Bioplastics European, nova-Institute (2018), *Global Production Capacities of Bioplastics 2018–2023 Bioplastics Market Data 2018*.
- Biron M. (2016), *Industrial Applications of Renewable Plastics: Environmental, Technological, and Economic Advances*, Elsevier Inc.
- Bisphenol A (BPA) the Mighty and the Mutagenic* (2018), „Toxicology Reports”, vol. 5.
- Blunt W., Levin D.B., Cicek N. (2018), *Bioreactor Operating Strategies for Improved Polyhydroxyalkanoate (PHA) Productivity*, „Polymers”, vol. 10.
- Bomrungnok W., Arai T., Yoshihashi T., Sudesh K. (2019), *Direct Production of Polyhydroxybutyrate from Waste Starch by Newly-isolated Bacillus Aryabhatai*, „Environmental Technology”, vol. 0.
- Bravo A., Toubal L., Koffi D., Erchiqui F. (2015), *Damage Characterization of Bio and Green Polyethylene-birch Composites under Creep and Cyclic Testing with Multivariable Acoustic Emissions*, Materials (Basel). 8.
- Buczak B. (2016), *Ścieki jako surowiec – zmiana paradygmatu?*, AGROindustry.
- Bugnicourt E., Cinelli P., Lazzeri A., Alvarez V. (2014), *Polyhydroxyalkanoate (PHA)*, „Review of Synthesis, Characteristics, Processing and Potential Applications in Packaging”, vol. 8.
- Campanari S., Francisca A., Bertin L., Villano M. (2014), *Effect of the Organic Loading Rate on the Production of Polyhydroxyalkanoates in a Multi-stage Process*



- Aimed at the Valorization of Olive Oil Mill Wastewater*, „International of Biological Macromolecules”.
- Cao Q. i in. (2014), *The Mechanism of Anti-osteoporosis Effects of 3-hydroxybutyrate and Derivatives Under Simulated Microgravity*, „Biomaterials.”, vol. 35.
- Carvalho G., Oehmen A., Albuquerque M.G.E., Reis M.A.M. (2013), *The Relationship Between Mixed Microbial Culture Composition and PHA Production Performance from Fermented Molasses*, „New Biotechnology”, vol. 00.
- Castillo Martinez F.A. i in. (2013), *Lactic Acid Properties, Applications and Production: A Review*, „Trends in Food Science and Technology”, vol. 30.
- Castro-Aguirre E., Iñiguez-Franco F., Samsudin H., Fang X., Auras R. (2016), *Poly(lactic acid) – Mass Production, Processing, Industrial Applications, and End of Life*, „Advanced Drug Delivery Reviews”, vol. 107.
- Cerrone F. i in. (2014), *Medium Chain Length Polyhydroxyalkanoate (mcl-PHA) Production from Volatile Fatty Acids Derived from the Anaerobic Digestion of Grass*, „Applied Microbiology and Biotechnology”, vol. 98.
- Cerrone F. i in. (2015), *Use of a Mannitol Rich Ensiled Grass Press Juice (EGPJ) as a Sole Carbon Source for Polyhydroxyalkanoates (PHAs) Production Through High Cell Density Cultivation*, „Bioresource Technology”.
- Cha S., Son J., Jamal Y., Mohd.Zafar, Park H. (2015), *Characterization of Polyhydroxyalkanoates Extracted from Wastewater Sludge Under Different Environmental Conditions*, „Biochemical Engineering Journal”, vol. 112.
- Chen C.W., Don T., Yen H. (2006), *Enzymatic Extruded Starch as a Carbon Source for the Production of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) by Haloferax Mediterranei*, „Process Biochemistry”, vol. 41.
- Chen G., Hajnal I., Wu H., Lv L., Ye J. (2015), *Engineering Biosynthesis Mechanisms for Diversifying Polyhydroxyalkanoates*, „Trends in Biotechnology”, vol. 33.
- Chen G.-Q. (2010), *Introduction of Bacterial Plastics PHA, PLA, PBS, PE, PTT, and PPP*, „Plastics from Bacteria: Natural Functions and Applications”, vol. 14.
- Chen G.-Q., Wu Q. (2005), *The Application of Polyhydroxyalkanoates as Tissue Engineering Materials*, „Biomaterials”, vol. 26.
- Chen Z., Huang L., Wen Q., Guo Z. (2015), *Efficient Polyhydroxyalkanoate (PHA) Accumulation by a New Continuous Feeding Mode in Three-stage Mixed Microbial Culture (MMC) PHA Production Process*, „Elsevier B.V.”.
- Chim H., Ong J.L., Schantz J.T., Hutmacher D.W., Agrawal C.M. (2003), *Efficacy of Glow Discharge Gas Plasma Treatment as a Surface Modification Process for Three-dimensional Poly (D,L-lactide) Scaffolds*, „Journal of Biomedical Materials Research Part A”, vol. 65.
- Chipmaker's All-Or-Nothing Claim Sets the Bar in Big and Bold – BioCycle* (2010).
- Chiulan I., Frone A.N., Brandabur C., Panaitescu D.M. (2017), *Recent Advances in 3D Printing of Aliphatic Polyesters*, „Bioeng”, (Basel, Switzerland), vol. 5.
- Chodak I. (2008), *Polyhydroxyalkanoates: Origin, Properties and Applications*, „Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources”, p. 451–477.

- Coelhoso I., Freitas F., Alves V., Reis M. (2015), *Biodegradable Organic Matter*, Encyclopedia of Membranes, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Colombo B., Sciarria T.P., Reis M., Scaglia B., Adani F. (2016), *Polyhydroxyalkanoates (PHAs) Production from Fermented Cheese whey by Using a Mixed Microbial Culture*, „Bioresource Technology”, vol. 218.
- Coutinho de Paula F., Kakazu S., Bilia Chimello de Paula C., Gregorio Cabrera Gomez J., Contiero J. (2016), *Polyhydroxyalkanoate Production from Crude Glycerol by Newly Isolated Pandoraea sp.*, „Journal of King Saud University – Science”, vol. 29. Cove, <https://drinkcove.com/>.
- Cruz M.V, Sarraguc M.C., Reis M.A.M. (2015), *Online Monitoring of P(3HB) Produced from Used Cooking Oil With Near-infrared Spectroscopy*, „Journal of Biotechnology”, vol. 194.
- Cruz M.V. i in. (2014), *Production of Polyhydroxyalkanoates from Spent Coffee Grounds Oil Obtained by Supercritical Fluid Extraction Technology*, „Bioresource Technology”.
- Cruz M.V. i in. (2015), *Valorization of Fatty Acids-containing Wastes and byproducts into Short- and Medium-chain Length Polyhydroxyalkanoates*, „New Biotechnology”, vol. 00.
- Cubas-Cano E., Ballesteros M., Unit B. (2018), *Lactobacillus Pentosus CECT 4023T co-utilizes Glucose and Xylose to Produce Lactic Acid from Wheat Straw Hydrolysate: Anaerobiosis as a Key Factor*, „Biotechnology Progress”, vol. 35.
- Davachi S.M., Kaffashi B. (2015), *Poly(lactic Acid) in Medicine*, „Polymer-Plastics Technology and Engineering”, vol. 54.
- Davis R. i in. (2013), *Conversion of Grass Biomass into Fermentable Sugars and its Utilization for Medium Chain Length Polyhydroxyalkanoate (mcl-PHA) Production by Pseudomonas Strains*, „Bioresource Technology”, vol. 150.
- de Smet M.J., Eggink G., Witholt B., Kingma J., Wynberg H. (1983), *Characterization of Intracellular Inclusions Formed by {Pseudomonas} Oleovorans During Growth on Octane*, „Journal of Bacteriology”, vol. 154.
- Deng Y. i in. (2003), *Poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyhexanoate) Promoted Production of Extracellular Matrix of Articular Cartilage Chondrocytes in Vitro*, „Biomaterials”, vol. 24.
- Desai J.D., Banat I.M. (1997), *Microbial Production of Surfactants and Their Commercial Potential*, „Microbiology and Molecular Biology Reviews”, vol. 61.
- Dixit S., Ritesh G., Dubey A., Shivhere R.R., Bahalavi T. (2017), *Natural Fibre Reinforced Polymer Composite Materials – A Review*, „Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources”, vol. 8.
- DryRight™ Tactical Boot Dryer Sheet by PLA Non Woven Manufacturer Biovation LLC – YouTube.
- Dumbrepatil A., Adsul M., Chaudhari S., Khire J., Gokhale D. (2008), *Utilization of Molasses Sugar for Lactic Acid Production by Lactobacillus delbrueckii subsp. delbrueckii Mutant Uc-3 in Batch Fermentation*, „Applied and Environmental Microbiology”, vol. 74.

- Dutt A., Ajay T. (2012), *Utilizing of Sugar Refinery Waste (Cane Molasses) for Production of Bio-Plastic Under Submerged Fermentation Process*, „Journal of Polymers and the Environment”, vol. 20.
- Eco For Life*, Information | Chemical & Toxin Free Bottle.
- Elain A. i in. (2016), *Valorisation of Local Agro-industrial Processing Waters as Growth Media for Polyhydroxyalkanoates (PHA) Production*, „Industrial Crops and Products”, vol. 80.
- Ellis J.L., Dijkstra J., Parsons A.J. (2012), *Effect of High-sugar Grasses on Methane Emissions Simulated Using a Dynamic Model*, „Journal of Dairy Science”, vol. 95.
- Fan L., Nguyen T., Roddick F.A. (2011), *Characterisation of the Impact of Coagulation and Anaerobic Bio-treatment on the Removal of Chromophores from Molasses Wastewater*, „Water Research”, vol. 45.
- FAO (2011), *Global Food Losses and Food Waste – Extent, Causes and Prevention*, Rome.
- Farah S., Anderson D.G., Langer R. (2016), *Physical and Mechanical Properties of PLA, and Their Functions in Widespread Applications – A Comprehensive Review*, „Advanced Drug Delivery Reviews”, vol. 107.
- Fernandez D. i in. (2005), *Agro-industrial Oily Wastes as Substrates for PHA Production by the New Strain Pseudomonas Aeruginosa NCIB 40045: Effect of Culture Conditions*, „Biochemical Engineering Journal”, vol. 26.
- Follain N. i in. (2014), *Structure and Barrier Properties of Biodegradable Polyhydroxyalkanoate Films*, „The Journal of Physical Chemistry C”, vol. 118.
- Fritzsche K., Lenz R.W., Fuller R.C. (1990), *An Unusual Bacterial Polyester with a Phenyl Pendant Group*, „Die Makromolekulare Chemie”, vol. 191.
- Fukushima K., Sogo K., Miura S., Kimura Y. (2004), *Production of D -Lactic Acid by Bacterial Fermentation of Rice Starch*, „Macromolecular Bioscience”.
- Garlotta D. (2001), *A Literature Review of Poly(Lactic Acid)*, „Journal of Polymers and the Environment”, vol. 9.
- Geyer R., Jambeck J., Law K. (2017), *Production, Use, And Fate Of All Plastics Ever Made*, „Science Advances”, vol. 3.
- Givry S., Prevot V., Duchiron F. (2008), *Lactic Acid Production from Hemicellulosic Hydrolyzate by Cells of Lactobacillus Bifermentans Immobilized in Ca-alginate Using Response Surface Methodology*, „World Journal of Microbiology and Biotechnology”, vol. 24.
- Gonzalez-Garcia Y., Rosales M.A., Gonzalez-Reynoso O., Sanjuan-Duenas R., Cordova J. (2011), *Polyhydroxybutyrate Production by Saccharophagus Degradans Using Raw Starch as Carbon Source*, „Engineering in Life Sciences”, vol. 11.
- Gouda M.K., Swellam A.E., Omar S.H. (2001), *Production of PHB by a Bacillus Megaterium Strain Using Sugarcane Molasses and Corn Steep Liquor as Sole Carbon and Nitrogen Sources*, „Microbiological Research”, vol. 156.
- Guerrini S., Borreani G., Voojijis H. (2017), *Biodegradable Materials in Agriculture: Case Histories and Perspectives*, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gunatillake P.A., Adhikari R., Gadegaard N. (2003), *Biodegradable Synthetic Polymers for Tissue Engineering*, „European Cells & Materials”, vol. 5.

- Gupta C., Prakash D., Gupta S. (2015), *A Biotechnological Approach to Microbial Based Perfumes and Flavours Mini Review Article*, „Journal of Microbiology & Experimentation”, vol. 2015.
- Gursel I., Yagmurlu F., Korkusuz F., Hasirci V. (2002), *In Vitro Antibiotic Release from Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) Rods*, „Journal of Microencapsulation”, vol. 19.
- Guzik M.W. i in. (2014), *Conversion of Post Consumer Polyethylene to the Biodegradable Polymer Polyhydroxyalkanoate*, „Applied Microbiology and Biotechnology”, vol. 98.
- Haas R., Jin B., Zepf F.T. (2008), *Production of Poly(3-hydroxybutyrate) from Waste Potato Starch*, „Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry”, vol. 72.
- Halami P.M. (2008), *Production of Polyhydroxyalkanoate from Starch by the Native Isolate Bacillus Cereus CFR06*, „World Journal of Microbiology and Biotechnology”, vol. 24.
- Hamad K., Kaseem M., Ko Y.G., Deri F. (2014), *Biodegradable Polymer Blends and Composites: An Overview*, „Polymer Science, Series A”, vol. 56.
- Hamad K., Kaseem M., Yang H.W., Deri F., Ko Y.G. (2015), *Properties and Medical Applications of Polylactic Acid: A Review*, „eXPRESS Polymer Letters”, vol. 9.
- Harażna K. i in. (2019), *Polyhydroxyalkanoate-derived Hydrogen-bond Donors for the Synthesis of New Deep Eutectic Solvents*, „Green Chemistry”, vol. 21.
- Harażna K., Szyk-Warszyńska L., Witko M., Guzik M. (2019), *Preparation, Characterisation and Modification of Bacterial Polyhydroxyoctanoate for Construction of Wound Patches*, 7th International Seminar including Special session, „Recent Advances in Polymer Nanocomposites and Hybrid Materials”.
- Hasegawa Y., Sakano S., Iwase T., Warashina H. (2002), *The Long-Term Behavior of Poly-L-lactide Screws in a Minipig Fracture Model: Preliminary Report*, „Journal of Biomedical Materials Research”, vol. 63.
- Hayes D.G., Dumont M.J. (2016) *Polymeric Products Derived from Industrial Oils for Paints, Coatings, and Other Applications. Industrial Oil Crops* (AOCS Press.).
- Hazer B. (2010), *Amphiphilic Poly(3-hydroxy alkanate)s: Potential Candidates for Medical Applications*, „International Journal of Polymer Science”, vol. 2010.
- Hetenyi K., Nemeth A., Sevelia B. (2008), *Examination of Medium Supplementation for Lactic Acid Fermentation*, „Hungarian Journal of Industry and Chemistry”, vol. 36.
- Hjort M. i in. (2015), *Integrated Production of Polyhydroxyalkanoates (PHAs) with Municipal Wastewater and Sludge Treatment at Pilot Scale*, „Bioresource Technology”, vol. 181.
- Hofvendahl K., Hahn-Hligerdal B. (1997), *L-lactic Acid Production from Whole Wheat Flour Hydrolysate Using Strains of Lactobacilli and Lactococci*, „Enzyme and Microbial Technology”, vol. 0229.
- Hon K.L., Kung J.S.C., Ng W.G.G., Leung T.F. (2018), *Emollient Treatment of Atopic Dermatitis: Latest Evidence and Clinical Considerations*, „Drugs Context”, vol. 7.
- Huang L.P., Jin B., Lant P., Zhou J. (2003), *Biotechnological Production of Lactic Acid Integrated with Potato Wastewater Treatment by Rhizopus Arrhizus*, „Journal of the Society of Chemical Industry”, vol. 906.

- Huang T.H., Chen C.W., Starch E., Repeated A. (2006), *Production of Polyhydroxyalkanoates from Inexpensive Extruded Rice Bran and Starch by Haloferax Mediterranei*, „Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology”, vol. 33.
- Huijberts G.N.M., de Rijk T.C., de Waard P., Eggink G. (1994), *<sup>13</sup>C Nuclear Magnetic Resonance Studies of Pseudomonas putida Fatty Acid Metabolic Routes Involved in Poly(3-Hydroxyalkanoate) Synthesis*, „Journal of Bacteriology”, vol. 176.
- Human Exposure to Bisphenol A (BPA)* (2007), „Reproductive Toxicology”, vol. 24.
- Hung Y.C. i in. (2012), *Functional DNA Biopolymers and Nanocomposite for Optoelectronic Applications*, „Optical Materials”, vol. 34.
- Inkinen S., Hakkarainen M., Albertsson A.C., Södergård A. (2011), *From Lactic Acid to Poly(lactic acid) (PLA): Characterization and Analysis of PLA and Its Precursors*, „Biomacromolecules”, vol. 12.
- Ishizaki A., Tanaka K., Taga N. (2001), *Microbial Production of Poly-D-3-hydroxybutyrate from CO<sub>2</sub>*, „Applied Microbiology and Biotechnology”, vol. 57.
- Jain R., Kosta S., Tiwari A. (2010), *Polyhydroxyalkanoates: A Way to Sustainable Development of Bioplastics*, „Chronicles of Young Scientists”, vol. 1.
- Jamshidian M., Tehrani E.A., Imran M., Jacquot M., Desobry S. (2010), *Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies*, „Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety”, vol. 9.
- Jedliński Z., Kowalczyk M., Adamus G., Sikorska W., Rydz J. (1999), *Novel Synthesis of Functionalized Poly(3-hydroxybutanoic acid) and Its Copolymers*, „International of Biological Macromolecules”, vol. 25.
- Jem K.J., Pol J.F. Van Der, Vos S.De. (2010), *Microbial Lactic Acid, Its Polymer Poly(lactic acid), and Their Industrial Applications*, „Plastics from Bacteria”, vol. 14.
- Jem K.J., van der Pol J.F., de Vos S. (2010), *Microbial Lactic Acid, its Polymer Poly(lactic acid), and Their Industrial Applications*, in (Springer, Berlin, Heidelberg).
- Jeyaseelan A., Pandiyan S., Ravi P. (2012), *Production of Polyhydroxyalkanoate (PHA) using Hydrolyzed Grass and Syzygium Cumini Seed as Low Cost Substrates*, „Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences”, vol. 2.
- Jia Q. i in. (2014), *Production of Polyhydroxyalkanoates (PHA) by Bacterial Consortium from Excess Sludge Fermentation Liquid at Laboratory and Pilot Scales*, „Bioresource Technology”, vol. 171.
- Jiang G. i in. (2016), *Carbon Sources for Polyhydroxyalkanoates and an Integrated Biorefinery*, „International Journal of Molecular Sciences”, vol. 17.
- John R.P., Nampoothiri K.M., Pandey A. (2006), *Simultaneous Saccharification and Fermentation of Cassava Bagasse for L-(+)-Lactic Acid Production Using Lactobacilli*, „Biotechnology and Applied Biochemistry”, vol. 134.
- John R.P., Nampoothiri K.M., Pandey A. (2006), *Solid-state Fermentation for L-lactic Acid Production from Agro Wastes Using Lactobacillus Delbrueckii*, „Process Biochemistry”, vol. 41.
- John R.P., Nampoothiri K.M., Pandey A. (2007), *Fermentative Production of Lactic Acid from Biomass: An Overview on Process Developments and Future Perspectives*, „Applied Microbiology and Biotechnology”, vol. 74.

- Johnston B. i in. (2018), *The Microbial Production of Polyhydroxyalkanoates from Waste Polystyrene Fragments Attained using Oxidative Degradation*, „Polymers”, vol. 10.
- Jung H.H. (2014), *A Review of Food Packaging Technologies and Innovations*, [w:] *Innovations in Food Packaging*, Academic Press.
- Kahar P., Tsuge T., Taguchi K., Doi Y. (2004), *High Yield Production of Polyhydroxyalkanoates From Soybean Oil by Ralstonia Eutropha and Its Recombinant Strain*, „Polymer Degradation and Stability”, vol. 83.
- Kapuscinska A., Nowak I. (2015), *Zastosowanie kwasów organicznych w terapii trądziku i przebarwień skóry*, TT, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej”, vol. 69.
- Kawakami H. (2008), *Polymeric Membrane Materials for Artificial Organs*, „Journal of Artificial Organs”, vol. 11.
- Kim do Y., Kim H.W., Chung M.G., Rhee Y.H. (2007), *Biosynthesis, Modification, and Biodegradation of Bacterial Medium-chain-length Polyhydroxyalkanoates*, „Journal of Microbiology”, vol. 45.
- Koller M., Miranda M., Dias D.S., Reiterer A., Braunegg G. (2010), *Modern Biotechnological Polymer Synthesis: A Review*, „Food Technology and Biotechnology”, vol. 48.
- Koller M., Salerno A., Dias M., Reiterer A., Braunegg G. (2010), *Modern Biotechnological Polymer Synthesis: A Review*, „Food Technology and Biotechnology”, vol. 48.
- Kotarska K., Dziemianowicz W. (2015), *Effect of Different Conditions of Alcoholic Fermentation of Molasses on Its Intensification and Quality of Produced Spirit*, „Żywność. Nauka.Technologia. Jakość/Food.Science.Technology. Quality”, vol. 21.
- Krzysztof H., Szajner P. (2013), *Sytuacja na światowym rynku cukru i jej wpływ na możliwości uprawy buraków cukrowych w Polsce*.
- Kubiszewska I., Januszewska M., Rybka J., Gackowska L. (2014), *Bakterie kwasu mlekowego i zdrowie: Czy probiotyki sa bezpieczne dla czlowieka?*, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej”, vol. 68.
- Kumar P., Ray S., Kalia V.C. (2015), *Microbial Biotechnology and Genomics*, CSIR – Institute of Genomics and Integrative Biology, „Bioresource Technology”.
- Kurańska M., Prociak A. (2016), *The Influence of Rapeseed Oil-based Polyols on the Foaming Process of Rigid Polyurethane Foams*, „Industrial Crops and Products”, vol. 89.
- Kynadi A.S., Suchithra T.V. (2017), *Industrial Crops & Products Formulation and Optimization of a Novel Media Comprising Rubber Seed Oil for PHA Production*, „Industrial Crops and Products”, vol. 105.
- Lasprilla A.J.R., Martinez G.A.R., Lunelli B.H., Jardini A.L., Filho R.M. (2012), *Poly-lactic Acid Synthesis for Application in Biomedical Devices – A Review*, „Biotechnology Advances”, vol. 30.
- Lebreton L.C.M. i in. (2017), *River Plastic Emissions to the World's Oceans*, „Nature Communications”, vol. 8.
- Lee S.Y., Lee Y., Wang F. (1999), *Chiral Compounds from Bacterial Polyesters: Sugars to Plastics to Fine Chemicals*, „Biotechnology and Bioengineering”, vol. 65.

- Lee W.H., Loo C.Y., Nomura C.T., Sudesh K. (2008), *Biosynthesis of Polyhydroxyalkanoate Copolymers From Mixtures of Plant Oils and 3-hydroxyvalerate Precursors*, „Bioresource Technology”, vol. 99.
- Lewandowicz J. (2017), *Physicochemical Characteristics and Evaluation of Applicability of Waxy Starches*, praca doktorska.
- Litchfield H. (1996), *Microbiological Production of Lactic Acid*, „Advances in Applied Microbiology”, vol. 42.
- Loo C., Lee W., Tsuge T., Doi Y., Sudesh K. (2005), *Biosynthesis and characterization of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) from Palm Oil Products in a *Wautersia Eutropha* Mutant*, „Process Biochemistry”.
- Lu J., Tappel R.C., Nomura C.T. (2009), *Mini-review: Biosynthesis of Poly(hydroxyalkanoates)*, „Polymer Reviews”, vol. 49.
- Lu X., Zhang J., Wu Q., Chen G.-Q. (2003), *Enhanced Production of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) Via Manipulating the Fatty Acid [beta]-oxidation Pathway in *E. Coli**, „FEMS Microbiology Letters”, vol. 221.
- Ma H.K. i in. (2013), *Application of Polyhydroxyalkanoate (PHA) Synthesis Regulatory Protein *PhaR* As a Bio-surfactant and Bactericidal Agent*, „Journal of Biotechnology”, vol. 166.
- Madhavan Nampoothiri K., Nair N.R., John R.P. (2010), *An Overview of the Recent Developments in Polylactide (PLA) Research*, „Bioresource Technology”, vol. 101.
- Marchessault R.H., Yu G. (2005), *Crystallization and Material Properties of Polyhydroxyalkanoates PHAs*, „Biopolymers Online”.
- Marturano V., Cerruti P., Ambrogi V. (2017), *Polymer Additives*, „Physical Sciences Reviews”, vol. 2.
- Mateo-Sagasta J., Raschid-Sally L., Thebo A. (2015), *Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use*, [w:] *Wastewater. Economic Asset in an Urbanizing World*, red. P. Drechsel, Q. Manzoor, D. Wichelns, Springer.
- McGinty D., Letizia C.S., Api A.M. (2012), *Fragrance Material Review on Carbonic Acid, Methyl Phenylmethyl Ester*, „Food and Chemical Toxicology”, vol. 50.
- McKeon T.A. (2016), *Chapter 11 – Emerging Industrial Oil Crops*, [w:] „Industrial Oil Crops.”, Academic Press and AOCS Press.
- Mohan Rasu A., Arun K. (2017), *Exploring Biodegradable Polymer Production from Marine Microbes*, [w:] *Biodegradable Polymers: Recent Developments and New Perspectives*, IAPC Publishing.
- Mohanakrishna G., Mohan S.V., Sarma P.N. (2010), *Utilizing Acid-Rich Effluents of Fermentative Hydrogen Production Process as Substrate for Harnessing Bioelectricity: An Integrative Approach*, „International Journal of Hydrogen Energy”, vol. 35.
- Mojka K. (2014), *Probiotyki, prebiotyki i synbiotyki – charakterystyka i funkcje*, „Problemy Higieny i Epidemiologii”, vol. 95.
- Monier V. i in. (2011), *Preparatory Study on Food Waste Across EU 27 – Report Commissioned by the European Commission (DG ENV)*, *European Communities*, 33.

- Morrison H.G., Sun C.C., Neervannan S. (2009), *Characterization of Thermal Behavior of Deep Eutectic Solvents and Their Potential as Drug Solubilization Vehicles*, „International Journal of Pharmaceutics”, vol. 378.
- Muhammadi A. Muhammad and S. Hameed S. (2015), *Bacterial Polyhydroxyalkanoates-eco-friendly Next Generation Plastic: Production, Biocompatibility, Biodegradation, Physical Properties and Applications*, „Green Chemistry Letters and Reviews”, vol. 8.
- Myers D. (2006), *Surfactant Science and Technology THIRD EDITION*, John Wiley & Sons, Inc. Igarss 2014.
- Nandy A., Mukherjee A., Pramanik N. (2014), *Microbial Synthesis and Applications*, [w:] *Encyclopedia of Biomedical Polymers and Polymeric Biomaterials Polyhydroxyalkanoates*.
- Narita J., Nakahara S., Fukuda H. (2004), *Efficient Production of L – (+) -Lactic Acid from Raw Starch by Streptococcus bovis 148*, „Journal of Bioscience and Bioengineering”, vol. 97.
- Nath A., Dixit M., Bandiya A., Chavda S., Desai A.J. (2008), *Enhanced PHB Production and Scale Up Studies Using Cheese whey in Fed Batch Culture of Methylobacterium sp. ZP24*, „Bioresource Technology”, vol. 99.
- Nestlé and Danimer Scientific to Develop Biodegradable Water Bottle*, Nestlé Global.
- Ng K., Wong Y., Tsuge T., Sudesh K. (2011), *Biosynthesis and Characterization of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) Copolymers Using Jatropa Oil as the Main Carbon Source*, „Process Biochemistry”, vol. 46.
- Niaounakis M. (2014), *Introduction*, [w:] *Biopolymers: Processing and Products*, William Andrew.
- Nikodinovic-Runic J. i in. (2013), *Carbon-rich Wastes as Feedstocks for Biodegradable Polymer (Polyhydroxyalkanoate) Production Using Bacteria*, „Advances in Applied Microbiology”, vol. 84.
- Nofar M., Sacligil D., Carreau P.J., Kamal M.R., Heuzey M.C. (2019), *Poly (lactic acid) Blends: Processing, Properties and Applications*, „International of Biological Macromolecules”, vol. 125.
- Nonwoven PLA may thrive in the healthcare market – Advanced Textiles Source*, <https://advancedtextilesource.com/2015/07/10/nonwoven-pla-may-thrive-in-the-healthcare-market>.
- Ntaikou I. i in. (2014), *Microbial Bio-based Plastics from Olive-mill Wastewater: Generation and Properties of Polyhydroxyalkanoates from Mixed Cultures in a Two-stage Pilot Scale System*, „Journal of Biotechnology”, vol. 188.
- Obruca S., Benesova P., Marsalek L., Marova I. (2015), *Use of Lignocellulosic Materials for PHA Production*, „Chemical and Biochemical Engineering Quarterly”, vol. 29.
- Obuchi S., Ogawa S. (2010), *Packaging and Other Commercial Applications*, [w:] *Poly(Lactic Acid)*, John Wiley & Sons, Inc.
- Oda Y., Saito K., Yamauchi H., Mori M. (2002), *Lactic Acid Fermentation of Potato Pulp by the Fungus Rhizopus oryzae*, „Current Microbiology”, vol. 45.



- Oh H. i in. (2005), *Lactic Acid Production from Agricultural Resources as Cheap Raw Materials*, „Bioresource Technology”, vol. 96.
- Oh Y.H. i in. (2015), *Development of Rice Bran Treatment Process and Its Use for the Synthesis of Polyhydroxyalkanoates from Rice Bran Hydrolysate Solution*, „Bioresource Technology”, vol. 181.
- Ojumu T., Solomon B. (2004), *Production of Polyhydroxyalkanoates, a Bacterial Biodegradable Polymer*, „African Journal of Biotechnology”, vol. 3.
- Pais J., Serafim L.S., Freitas F., Reis M.A.M. (2015), *Conversion of Cheese whey into Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) by Haloferax Mediterranei*, „New Biotechnology”, vol. 00.
- Pan W., Perrotta J.A., Stipanovic A.J., Nomura C.T., Nakas J.P. (2012), *Production of Polyhydroxyalkanoates by Burkholderia Cepacia ATCC 17759 Using a Detoxified Sugar Maple Hemicellulosic Hydrolysate*, „Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology”, vol. 39.
- Pantani R., Turng L.-S. (2015), *Manufacturing of advanced Biodegradable Polymeric Components*, „Journal of Applied Polymer Science”, vol. 132.
- Panunzi E. (2008), *Are Grasslands under Threat? Brief Analysis of FAO Statistical Data on Pasture and Fodder Crops*, FAO.
- Peña Miranda M., González Benito G., San Cristobal N., Heras Nieto C. (1996), *Color Elimination from Molasses Wastewater by Aspergillus Niger*, „Bioresource Technology”, vol. 57.
- Peters D. (2006), *Carbohydrates for Fermentation*, „Biotechnology Journal”, vol. 1.
- PHA Biopolyester Production from Surplus Whey: Microbiological and Engineering Aspects* (2016), [w:] Recent Advances in Biotechnology, red. M. Koller, L. Marsalek, G. Braunegg, Bentham Science Publishers.
- Philip S., Keshavarz T., Roy I. (2007), *Polyhydroxyalkanoates: Biodegradable Polymers with a Range of Applications*, „Journal of the Society of Chemical Industry”, vol. 82.
- Pietraszek P. i in. (2014), *Mikrobiologiczna produkcja kwasu mlekowego z surowców odnawialnych*, „Polish Journal of Agronomy”, vol. 16.
- Plackett D., Siró I. (2011), *Polyhydroxyalkanoates (PHAs) for Food Packaging*, [w:] Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging, Woodhead Publishing.
- Porter M.M. i in. (2013), *Mechanics of Biological Systems and Materials*, vol. 6, „Mechanics of Biological Systems and Materials”, vol. 5.
- Prazeres A.R., Carvalho F., Rivas J. (2012), *Cheese Whey Management: A Review*, „Journal of Environmental Economics and Management”, vol. 110.
- Radich A. (2006), *Biodiesel Performance, Costs, and Use by*, „U.S. Energy Information Administration”.
- Radivojevic J. i in. (2015), *Polyhydroxyalkanoate-based 3-hydroxyoctanoic Acid and its Derivatives as a Platform of Bioactive Compounds*, „Applied Microbiology and Biotechnology”, vol. 100.

- Rai R., Keshavarz T., Roether J.A., Boccaccini A.R., Roy I. (2011), *Medium Chain Length Polyhydroxyalkanoates, Promising New Biomedical Materials for the Future*, „Materials Science and Engineering R: Reports”, vol. 72.
- Ramadas N.V., Singh S.K., Soccol C.R., Pandey A. (2009), *Polyhydroxybutyrate Production using Agro-industrial Residue as Substrate by Bacillus sphaericus NCIM 5149*, „Brazilian Archives of Biology and Technology”, vol. 52.
- Ray S., Prajapati V., Patel K., Trivedi U. (2016), *Optimization and Characterization of PHA from Isolate Pannonibacter Phragmitetus ERC8 Using Glycerol Waste*, „International of Biological Macromolecules”, vol. 86.
- Raza Z.A., Abid S., Banat I.M. (2018), *Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, Production, Recent Developments and Applications*, „International Biodeterioration & Biodegradation”, vol. 126.
- Raza, Banat I.M., Riaz S.Z. (2017), *Polyhydroxyalkanoates: Properties and Chemical Modification Approaches for Their Functionalization*, „Biotechnology Progress”, vol. 34.
- Reddy C.S.K., Ghai R., Rashmi, Kalia V.C. (2003), *Polyhydroxyalkanoates: An Overview*, „Bioresource Technology”, vol. 87.
- Reddy M.V. i in. (2016), *Bioresource Technology Production of Poly-3-hydroxybutyrate (P3HB) and from Synthetic Wastewater Using Hydrogenophaga Palleronii*, „Bioresource Technology”, vol. 215.
- Reddy M.V., Amulya K., Rohit M.V., Sarma P.N., Mohan S.V. (2013), *Science Direct Valorization of Fatty Acid Waste for Bioplastics Production Using Bacillus Tequilensis: Integration with Dark-fermentative Hydrogen Production Process*, „International Journal of Hydrogen Energy”, vol. 39.
- Ribeiro B.D., Florindo C., Iff L.C., Coelho M.A.Z., Marrucho I.M. (2015), *Menthol-based Eutectic Mixtures: Hydrophobic Low Viscosity Solvents*, „ACS Sustainable Chemistry & Engineering”, vol. 3.
- Ribeiro P.L.L., de Souza Silvab G., Druzian J.I. (2016), *Evaluation of the Effects of Crude Glycerol on the Production and Properties of Novel Polyhydroxyalkanoate Copolymers Containing High 11-hydroxyoctadecanoate by Cupriavidus Necator IPT 029 and Bacillus Megaterium IPT 429*, „Polymers for Advanced Technologies”, vol. 27.
- Ricardo J. i in. (2016), *Production and Characterization of Polyhydroxyalkanoates and Native Microorganisms Synthesized from Fatty Waste*, „International Journal of Polymer Science”, vol. 2016.
- Robinson A.M., Williamson D.H. (1980), *Physiological Roles of Ketone Bodies as Substrates and Signals in Mammalian Tissues*, „Physiological Reviews”, vol. 60.
- Rodriguez-Perez S., Serrano A., Pantan A., Alonso-Farinas B. (2018), *Challenges of Scaling-up PHA Production from Waste Streams. A review Bernabe*, „Journal of Environmental Economics and Management”, vol. 205.
- Rohwedder William K., Wallen L.L. (1973), *Poly-β-hydroxyalkanoate from Activated Sludge*, „Environmental Science & Technology”, vol. 8.
- Roo G. De, Kellerhals M.B., Ren Q., Witholt B., Kessler B. (2002), *Production of Chiral R-3-Hydroxyalkanoic Acids and R-3-Hydroxyalkanoic Acid Methyl esters via*

- Hydrolytic Degradation of Polyhydroxyalkanoate Synthesized by Pseudomonads*, „Biotechnology and Bioengineering”, vol. 77.
- Rydz J. (2015), *Forensic Engineering of Advanced Polymeric Materials. Part 1 – Degradation Studies of Polylactide Blends with Atactic Poly[(R,S)-3-hydroxybutyrate] in Paraffin*, „Chemical and Biochemical Engineering Quarterly”, vol. 29.
- Sabbagh F., Azimah N., Mohd B., Rezania S. (2013), *Production of Biodegradable Polymers (PHA) Through Low Cost Carbon Sources: Green Chemistry*, „International Journal of Energy and Environmental Engineering”, vol. 4.
- Sandoval Á. i in. (2005), *Production of 3-hydroxy-n-phenylalkanoic Acids by a Genetically Engineered Strain of Pseudomonas Putida*, „Applied Microbiology and Biotechnology”, vol. 67.
- Savioli Lopes M., Jardim A.L., Maciel Filho R. (2012), *Poly (lactic acid) Production for Tissue Engineering Applications*, „Procedia Engineering”, vol. 42.
- Schmidt M. i in. (2016), *Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) Production in a System with External Cell Recycle and Limited Nitrogen Feeding During the Production Phase*, „Biochemical Engineering Journal”, vol. 112.
- Shah A.A., Hasan F., Hameed A., Ahmed S. (2008), *Biological Degradation of Plastics: A Comprehensive Review*, „Biotechnology Advances”, vol. 26.
- Shastri V. (2005), *Non-Degradable Biocompatible Polymers in Medicine: Past, Present and Future*, „Current Pharmaceutical Biotechnology”, 4.
- Shrivastav A., Kim H.-Y., Kim Y.-R. (2013), *Advances in the Applications of Polyhydroxyalkanoate Nanoparticles for Novel Drug Delivery System*, „BioMed Research International”, vol. 2013.
- Silva L.F. i in. (2004), *Poly-3-hydroxybutyrate (P3HB) Production by Bacteria from Xylose, Glucose and Sugarcane Bagasse Hydrolysate*, „Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology”, vol. 31.
- Smith M., Love D.C., Rochman C.M., Neff R.A. (2018), *Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health*, „Current Environmental Health Reports”, vol. 5.
- Sofińska K. i in. (2019), *Structural, Topographical, and Mechanical Characteristics of Purified Polyhydroxyoctanoate Polymer*, „Journal of Applied Polymer Science”, vol. 136.
- Steinbuechel A., Valentin H.E. (1995), *Diversity of Bacterial Polyhydroxyalkanoic*, „FEMS Microbiology Letters”, vol. 128.
- Sudesh K., Abe H., Doi Y. (2000), *Synthesis, Structure and Properties of Polyhydroxyalkanoates : Biological Polyesters*, „Progress in Polymer Science”, vol. 25.
- Tan G.Y.A. i in. (2014), *Start a Research on Biopolymer Polyhydroxyalkanoate (PHA): A Review*, „Polymers (Basel)”, vol. 6.
- Tanase M., Rapa O., Popa E.E. (2014), *Biopolymers Based on Renewable Resources – A Review*, „Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies”, vol. XVIII.
- Taniguchi M. i in. (2005), *Production of L-Lactic Acid by Simultaneous Saccharification and Fermentation Using Unsterilized Defatted Rice Bran as a Carbon Source and Nutrient Components*, „Food Science and Technology Research”, vol. 11.

- Tokiwa Y., Calabia B.P., Ugwu C.U., Aiba S. (2009), *Biodegradability of Plastics*, „International Journal of Molecular Sciences”, vol. 10.
- Tsao G.T., Cao N.J., Du J., Gong C.S. (1999), *Production of Multifunctional Organic Acids from Renewable Resources*, „Advances in Biochemical Engineering”, vol. 65.
- Tsuji H. (2005), *Poly(lactide) Stereocomplexes: Formation, Structure, Properties, Degradation, and Applications*, „Macromolecular Bioscience”, vol. 5.
- Vaidya A.N., Pandey R.A., Mudliar S., Kumar M.S. (2013), *Production and Recovery of Lactic Acid for Polylactide – An Overview*, „Critical Reviews in Environmental Science and Technology”, vol. 35.
- Valappil S.P., Misra S.K., Boccaccini A.R., Roy I. (2006), *Biomedical Applications of Polyhydroxyalkanoates, an Overview of Animal Testing and in Vivo Responses*, „Expert Review of Medical Devices”, vol. 3.
- van der Walle G.A.M., de Koning G.J.M., Weusthuis R.A., Eggink G. (2001), *Properties, Modifications and Applications of Biopolyesters*, „Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology”, vol. 71.
- Verlinden R.A.J., Hill D.J., Kenward M.A., Williams C.D., Piotrowska-Seget Z. (2011), *Production of Polyhydroxyalkanoates from Waste Frying Oil by Cupriavidus Necator*, „AMB Express”, vol. 1.
- Volova T.G. i in. (2013), *The Physicochemical Properties of Polyhydroxyalkanoates with Different Chemical Structures*, „Polymer Science, Series A”, vol. 55.
- Wan Y., Chen W., Yang J., Bei J., Wang S. (2003), *Biodegradable Poly(L-lactide)-poly(ethylene glycol) Multiblock Copolymer: Synthesis and Evaluation of Cell Affinity*, „Biomaterials”, vol. 24.
- Wang B., Sharma-Shivappa R.R., Olson J.W., Khan S.A. (2013), *Production of Polyhydroxybutyrate (PHB) by Alcaligenes Latus using Sugarbeet Juice*, „Industrial Crops and Products”, vol. 43.
- Wang L. i in. (2010), *Bioresource Technology Efficient Production of L -lactic Acid from Cassava Powder by Lactobacillus Rhamnosus*, „Bioresource Technology”, vol. 101.
- Wang Q., Tappel R.C., Zhu C., Nomura C.T. (2012), *Development of a New Strategy for Production of Medium-Chain- Length Polyhydroxyalkanoates by Recombinant Escherichia coli via*, „Applied and Environmental Microbiology”, vol. 78.
- Wang Z. i in. (2003), *Mechanism of Enhancement Effect of Dendrimer on Transdermal Drug Permeation Through Polyhydroxyalkanoate Matrix*, „Journal of Bioscience and Bioengineering”, vol. 96.
- Williams S.F., Martin D.P., Moses A.C. (2016), *The History of GalaFLEX P4HB Scaffold*, „Aesthetic Surgery Journal”, vol. 36.
- WWAP (2017), *(United Nations World Water Assessment Programme)*. The United Nations World Water Development Report.
- Yabuuchi E., Kosako Y., Yano I., Hotta H., Nishiuchi Y. (1995), *Transfer of Two Burkholderia and An Alcaligenes Species to Ralstonia Gen. Nov.: Proposal of Ralstonia pickettii (Ralston, Palleroni and Doudoroff 1973) Comb. Nov., Ralstonia solanacearum (Smith 1896) Comb. Nov. and Ralstonia eutropha (Davis 1969) Comb. No.* „Microbiology and Immunology”, vol. 39.

- Yadav H., Yadav V.G., Shah G., Shah G., Dhaka P. (2015), *Biomedical Biopolymers, Their Origin and Evolution in Biomedical Sciences: A Systematic Review*, „Journal of Clinical and Diagnostic Research”, vol. 9.
- Yan Q., Zhao M., Miao H., Ruan W., Song R. (2010), *Coupling of the Hydrogen and Polyhydroxyalkanoates (PHA) Production Through Anaerobic Digestion from Taihu Blue Algae*, „Bioresource Technology”, vol. 101.
- Yee H.L., Foster R.L. (2015), *Polyhydroxyalkanoates as Packaging Materials: Current Applications and Future Prospects*, [w:] *Polyhydroxyalkanoate (PHA) Based Blends, Composites and Nanocomposites*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Yu J. (2001), *Production of PHA from Starchy Wastewater Via Organic Acids*, „Journal of Biotechnology”, vol. 86.
- Yu J., Stahl H. (2008), *Bioresource Technology Microbial Utilization and Biopolyester Synthesis of Bagasse Hydrolysates*, „Bioresource Technology”, vol. 99.
- Zhang J. i in. (2013), *3-Hydroxybutyrate Methyl Ester as a Potential Drug Against Alzheimer's Disease Via Mitochondria Protection Mechanism*, „Biomaterials.”, vol. 34.
- Zhang X., Luo R., Wang Z., Deng Y., Chen G.-Q. (2009), *Application of (R)-3-hydroxyalkanoate Methyl Esters Derived from Microbial Polyhydroxyalkanoates as Novel Biofuels*, „Biomacromolecules”, vol. 10.
- Zhao Y., Zou B., Shi Z., Wu Q., Chen G.Q. (2007), *The Effect of 3-hydroxybutyrate on the in Vitro Differentiation of Murine Osteoblast MC3T3-E1 and in Vivo Bone Formation in Ovariectomized Rats*, „Biomaterials.”, vol. 28.
- Zinn M., Witholt B., Egli T. (2001), *Occurrence, Synthesis and Medical Application of Bacterial Polyhydroxyalkanoate*, „Advanced Drug Delivery Reviews”, vol. 53.
- Zou X.H. i in. (2009), *The Effect of 3-hydroxybutyrate Methyl Ester on Learning and Memory in Mice*, „Biomaterials.”, vol. 30.
- Zou Z., Sasaguri S., Rajesh K.G., Suzuki R. (2015), *dl-3-Hydroxybutyrate Administration Prevents Myocardial Damage After Coronary Occlusion in Rat Hearts*, „American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology”, vol. 283.