

INNOWACYJNA GMINA

Informatyka w jednostkach samorządu terytorialnego

pod redakcją
Mirosława Hajdera



Rzeszów 2014

Monografia

INNOWACYJNA GMINA

***Informatyka w jednostkach
samorządu terytorialnego***

pod redakcją naukową

Mirosława Hajdera

Rzeszów, 2014

Recenzja naukowa:

dr inż. Janusz Korniak,
dr inż. Paweł Różycki

Redakcja naukowa:

Mirosław Hajder

Redakcja i korekta:

Agnieszka Hajder

Projekt okładki i stron tytułowych:

Andrii Sydorak

Skład, łamanie i przygotowanie do druku:

Janusz Kolbusz, Roman Korostenskyi

Pomysł monografii:

Mirosław Hajder, Janusz Kolbusz, Mariusz Nycz

© Copyright by Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą
w Rzeszowie, 2014

ISBN 978-83-937166-4-7 książka w oprawie miękkiej

ISBN 978-83-937166-5-4 on-line pdf

Wydawca:

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie
ul. Sucharskiego 2
35-225 Rzeszów

SPIS TREŚCI

ROZDZIAŁ 1

Janusz KOLBUSZ, Władysław CZAJKA: *Quo Vadis Podkarpacie?*5

ROZDZIAŁ 2

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ, Beata FLOREK: *Terminologiczne i metodologiczne problemy analizy zjawisk katastroficznych na poziomie regionalnym* 17

ROZDZIAŁ 3

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ, Roman KOROSTENSKYI: *Metody i środki niskokosztowej modernizacji systemu zaopatrzenia gminy w wodę*35

ROZDZIAŁ 4

Mirosław HAJDER, Beata FLOREK: *Przyczyny i skutki wykluczenia cyfrowego w środowisku wiejskim Podkarpacia*47

ROZDZIAŁ 5

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ, Roman KOROSTENSKYI: *Badania symulacyjne efektywności zmodernizowanych systemów zaopatrzenia w wodę* 53

ROZDZIAŁ 6

Roman KOROSTENSKYI, Piotr HAJDER: *Metodyka i metodologia informatycznego zarządzania jednostką samorządową* 69

ROZDZIAŁ 7

Mirosław HAJDER, Beata FLOREK, Mariusz NYCZ: *Klasyfikacja technologicznych zagrożeń wybranych obszarów Podkarpacia* 75

ROZDZIAŁ 8

Mariola NYCZ, Roman KOROSTENSKYI: *Analiza struktury dochodów i wydatków gmin województwa podkarpackiego ze szczególnym uwzględnieniem działu Transport i łączność w latach 2004-2013* 89

ROZDZIAŁ 9

Mirosław HAJDER, Beata FLOREK: *Spojrzenie krytyczne na budowę infrastruktury informacyjnej* 99

ROZDZIAŁ 10

Roman KOROSTENSKIY, Piotr HAJDER: *Rola społeczeństwa informacyjnego w formowaniu kapitału ludzkiego* 105

ROZDZIAŁ 11

Mariusz NYCZ, Piotr HAJDER: *Metodologia oceny wpływu infrastruktury informacyjnej na rozwój regionalny* 111

ROZDZIAŁ 12

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ, Roman KOROSTENSKIY: *Synteza i analiza układu sterowania zaopatrzeniem gminy w wodę* 117

ROZDZIAŁ 13

Janusz KOLBUSZ, Jakub GAŹTARSKI, Piotr HAJDER: *Analiza dostępności usług sieciowych w gminie Sędziszów Małopolski*..... 129

ROZDZIAŁ 14

Mariusz NYCZ, Bartosz MICHNO, Rafał MLICKI: *Badanie efektywności ataków socjotechnicznych w jednostkach samorządu terytorialnego* 145

ROZDZIAŁ 15

Janusz KOLBUSZ, Piotr HAJDER: *Czy produkcja informacyjna może być szansą dla Podkarpacia?* 157

ROZDZIAŁ 16

Mirosław HAJDER, Mariusz NYCZ, Janusz KOLBUSZ: *Grafowe reprezentacje obiektów technicznych*..... 163

ROZDZIAŁ 17

Mirosław HAJDER, Mariusz NYCZ, Janusz KOLBUSZ: *Jedno- i wielokryterialne minimalne ścieżki w obiektach technicznych* 173

ROZDZIAŁ 18

Paweł RÓŻYCKI, Mirosław HAJDER, Mariusz NYCZ: *Analiza funkcjonalno-eksploatacyjnych charakterystyk hierarchicznych sieci komunikacyjnych* 189

ROZDZIAŁ 19

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ: *Minimalizacja złożoności pamięciowej grafowych modeli obiektów technicznych*..... 211

ROZDZIAŁ 1

Quo Vadis Podkarpacie?

Rozmowa o innowacyjności, turystyce i medycynie, a także o przyszłości Podkarpacia z dr inż. Władysławem Czajką, specjalistą z obszaru innowacyjności i transferu technologii, pracownikiem Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania na siedzibą w Rzeszowie. Czy mamy na Podkarpaciu własne rozwiązania na światowym poziomie, w co powinniśmy inwestować i czy kiedykolwiek dogonimy światową czołówkę innowacyjności? Odpowiedzi na te i inne nurtujące nas pytania zawarte są w treści tego wywiadu. Rozmowę przeprowadził Janusz Kolbusz.

Janusz Kolbusz: *Zastanawiam się, jaki tytuł nadać naszej rozmowie? Czy uważa Pan, że **Quo Vadis Podkarpacie** byłby trafiony?*

Władysław Czajka: Doskonale rozumiem intencje przyświecające pytaniu. Tematyka związana z planami modernizacji i rozwoju Podkarpacia jest niezmiernie ważna i aktualna, a ponieważ z wielu różnych powodów, stoimy obecnie na rozdrożu, taki tytuł rzeczywiście odzwierciedlałby wyzwania, o których będziemy rozmawiać.

J. K.: *Dlaczego, na wspomnianym „rozdrożu” stoimy właśnie teraz?*

W. Cz.: Kluczem do większości procesów zachodzących we współczesnym świecie są oczywiście... pieniądze. Nie inaczej jest również i w interesującym nas obszarze. Pieniądze z unijnej perspektywy finansowej 2014-20 są ostatnimi tak dużymi środkami przyznanymi Polsce. Jeżeli korzystając z nich, nie uczynimy systemu społeczno-gospodarczego Podkarpacia zróżnicowanym i konkurencyjnym, to pozostanie on w niezmienionej postaci jeszcze przez bardzo wiele lat. Aktualnie, nasza konkurencyjność opiera się wyłącznie na niskich kosztach pracy, które obciążone przeróżnymi podatkami stają się dla inwestorów coraz mniej atrakcyjne. Nie trzeba być prorokiem, aby przewidzieć, że po ustabilizowaniu się sytuacji politycznej, w takich krajach jak Ukraina, Białoruś czy Mołdowa, trudno będzie nam konkurować z nimi o nowe inwestycje. W 2013 roku średnia płaca na Białorusi wynosiła 1800 złotych, na Ukrainie 1250, a w Mołdowie poniżej 1000 złotych. Oczywiście, zawsze możemy mieć nadzieję, że w krajach tych nie będzie wysoko wykwalifikowanej kadry, a wspomnianej stabilizacji kraje te nie osiągną jeszcze przez wiele lat. Jestem jednak pewien, że są to wyłącznie złudne nadzieje. Białoruś, Ukraina czy Mołdowa jeszcze nie tak dawno miały doskonale rozwinię-

ty system szkolnictwa zawodowego i wyższego, z kolei postępująca globalizacja i międzynarodowa solidarność wymuszają ich stabilizację polityczną.

J. K.: *Jeżeli mamy rozmawiać o aplikowaniu nowych środków, może należałoby się zastanowić, czy te poprzednie zostały wykorzystane efektywnie? Być może, uda się nam wskazać, co pod tym względem możemy zrobić lepiej?*

W. Cz.: Unia Europejska finansowała dotąd ogromną liczbę różnorodnych przedsięwzięć. Dlatego nieprecyzyjnym byłoby formułowanie jednej wspólnej oceny dla wszystkich tych działań. Proponuję skupić się wyłącznie na tych programach, które w szczególnie sposób wpłynęły na nasz rozwój społeczno-gospodarczy. Mam na myśli przedsięwzięcia wspomagające rozwój infrastruktury i kapitału ludzkiego oraz budowę innowacyjnej gospodarki. Większość ekspertów zajmujących się rozwojem regionalnym, uważa że środki na modernizację infrastruktury zostały spożytkowane efektywnie. Oczywiście, można dyskutować, czy wszystkie zrealizowane inwestycje były potrzebne, ale decydujący głos w tej sprawie zawsze powinny mieć społeczności lokalne. Na pozytywną ocenę nie powinny wpływać ewidentnie błędne decyzje, na przykład, o budowie lotniska w Radomiu czy Gdyni. Na Podkarpaciu takich *wpadek* nie zanotowaliśmy, chociaż część z wydatkowanych środków można było zainwestować lepiej. Zauważę jeszcze, że oprócz zwolenników równomiernego rozwoju całego kraju, mamy nieliczną grupę *ekspertów*, uważających inwestowanie w ścianę wschodnią za niecelowe. Z tymi opiniami nie warto nawet dyskutować.

J. K.: *Czy podobna zgodność ocen charakteryzuje również wydatkowanie środków z programu kapitał ludzki?*

W. Cz.: W tym przypadku, opinie są już nieco bardziej krytyczne, bo i kryteria oceny są zupełnie inne. Dla infrastruktury, efekt realizacji zadania jest widoczny natychmiast, po jej zakończeniu: jeździmy po drodze, korzystamy z kanalizacji lub wodociągu. Efekty inwestycji w kapitał ludzki, zauważamy nierzadko po wielu latach. Ponadto, są one silnie uzależnione od intencji grupy, którą obejmował projekt. Zauważmy, że na stopień wykorzystania nabytych umiejętności, wpływają także czynniki, na które projektodawca ma niewielki wpływ. Po pierwsze, nie ustrzeżemy się przed *kolekcjonerami* darmowych szkoleń, dla których uzyskanie stosownego dokumentu jest celem samym w sobie, a poszerzenie wiedzy zawodowej czymś drugorzędnym. Po drugie, zdarza się również i tak, że recesja może spowodować chwilowy brak ofert pracy w danym zawodzie. Możemy również kształcić specjalistów na potrzeby niemal całej Europy, na przykład, operatorów wózków widłowych, stymulując w ten sposób emigrację. Powyższe problemy

można stosunkowo łatwo rozwiązać, a kłopotem jest zupełnie coś innego – większość działań w tym obszarze, szczególnie dotyczących aktywizacji zawodowej osób niepracujących, opierała się na szablonowych i mało skutecznych przedsięwzięciach: *kolejny kurs, kolejne szkolenie, darmowe podręczniki, przejazdy i wyżywienie...* . Nie tędy droga! Osoby koordynujące projekty powinny wykazać się większą kreatywnością, również w przypadku rozstrzygnięcia konkursów na działania promujące aktywność zawodową. Potrzebę i szacunek do pracy należy kształtować już od najmłodszych lat, na pewno nie poprzez promowanie postaw roszczeniowych.

J. K.: *Ostatnim, interesującym nas obszarem finansowania jest innowacyjna gospodarka. Ponieważ, środki na te cele będą dominować w najbliższych latach, przybliżmy czytelnikom problem innowacyjności.*

W. Cz.: Znamy wiele różnych określeń innowacyjności gospodarki. Najtrafniejszym z punktu widzenia naszej rozmowy, jest określenie, w którym innowacyjność to zdolność i motywacja przedsiębiorców do prowadzenia badań naukowych doskonalących i rozwijających produkcję, poprzez poszukiwanie i wdrażanie nowych pomysłów. Szacowanie poziomu innowacyjności gospodarki, podobnie jak wiele innych jej charakterystyk, zostało sformalizowane. Określając go, najczęściej wykorzystujemy *Globalny Indeks Innowacyjności*. Wskaźnik ten stworzony został do oceny gospodarek narodowych i charakteryzują go niezmienność i obiektywizm. Oznacza to, że wszystkie gospodarki poddawane ocenie, weryfikowane są w taki sam sposób, za pomocą kryteriów, posiadających kluczowy wpływ na obszar innowacyjności. Wykorzystywana aktualnie metodyka, opiera się na 84 różnych parametrach, takich jak: jakość edukacji, dostępność środków na przedsięwzięcia o charakterze innowacyjnym, złożoność procesów biznesowych, poziom infrastruktury i in. W rankingu z 2013 roku znaleźliśmy się na 49 miejscu na 142 oceniane państwa. Spośród krajów Unii, jedynym państwem, które zajęło niższą od nas, 55 pozycję, była Grecja. W roku 2014 udało się nam poprawić swoją lokatę, zajęliśmy 45 pozycję, a za nami z krajów unijnych znalazła się oprócz Grecji również Rumunia. Z państw dawnego bloku wschodniego w rankingu najwyżej, bo na 24 miejscu znalazła się Estonia. Z naszych unijnych sąsiadów: Niemcy zajmują 13, Czechy – 26, Słowacja 37, a Litwa – 39 miejsce. Poprawa innowacyjności to najlepsza droga do zwiększenia dobrobytu i zamożności społeczeństwa. Wystarczy wspomnieć, że na czołowych miejscach najnowszego rankingu znajdują się kolejno: Szwajcaria, Wielka Brytania, Szwecja, Finlandia i Holandia.

J. K.: *Czy aby jednak cytowane przez Pana rankingi są wiarygodne? Przecież niemal codziennie słyszymy o światowych sukcesach polskich naukowców, inżynierów i studentów!*

W. Cz.: Rzeczywiście, w tym obszarze panuje swoisty dualizm informacyjny. Z jednej strony, mówimy o bardzo niskiej pozycji w Globalnym Indeksie Innowacyjności, z drugiej zaś o osiągnięciach naszych konstruktorów. Indeks daje nam kompleksową oceną poziomu, włączając w to czynniki finansowe i administracyjne. Elementami, które dramatycznie obniżają naszą pozycję są administracyjne i finansowe ograniczenia biznesu, a także słabe powiązania w obszarze innowacji oraz niski poziom wykorzystania posiadanej wiedzy. Cóż z tego, że mamy wyjątkowo zdolnych inżynierów, jeżeli biurokracja i bankowość skutecznie tłumią ich kreatywność. Jeżeli udałoby się nam uprościć biurokrację i poszerzyć dostępność finansowania, w naszym zasięgu są miejsca w trzeciej, a nawet drugiej dziesiątce.

J. K.: *Podkarpacie dzięki ogromnemu potencjałowi nowoczesnego przemysłu lotniczego ma zapewnione na mapie innowacyjności szczególne miejsce.*

W. Cz.: Niestety, również i w tym przypadku rankingi nie są jednoznaczne. Ponieważ Globalny Indeks Innowacyjności nie odnosi się do gospodarek regionalnych, nie możemy wykorzystać go do oceny innowacyjności na Podkarpaciu. Najbardziej oczywistym wskaźnikiem jest liczba zgłoszeń wynalazków i wzorów użytkowych w przeciągu roku w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców. W 2012 roku, wśród województw znaleźliśmy się na niezagrożonym przedostatnim miejscu. Wyprzedziliśmy o blisko 15% ostatnie w rankingu województwo Lubuskie. W roku 2013 utrzymaliśmy swoją pozycję, zwiększając liczbę zgłoszeń o prawie 3% i przewagę nad ostatnim w rankingu województwem Lubuskim, które w tym okresie zanotowało bardzo wyraźny spadek liczby złożonych wniosków. Przytoczone dane napawają ogromnym niepokojem, bowiem utwierdzają w przekonaniu, że siła naszego regionu tkwi wyłącznie w taniej sile roboczej, a nie w kreatywności i będącej jej pokłosiem innowacyjności. Zupełnie inna wizja Podkarpacia wyłania się z rankingów przygotowanych przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości. Oczywiście, można zarzucić, że oceniając innowacyjność, PARP jest sędzią we własnej sprawie. Przytoczę ranking PARP-u, m. in. dlatego że pokazuje on nasze województwo w bardzo korzystnym świetle. W rankingu tym, województwa podzielono na 7 grup, nazywanych skupiskami. Kryterium podziału był poziom innowacyjności. Do pierwszej, najlepszej zaliczono wyłącznie województwo mazowieckie, drugą tworzą śląskie i dolnośląskie. Podkarpacie wraz

z województwami małopolskim i pomorskim należy do trzeciej grupy. Z opracowań PARP-u wynika, że jako województwo, pod względem innowacyjności plasujemy się w okolicach 6 miejsca.

J. K.: *Cytowane rankingi PARP-u są rzeczywiście nobilitujące. Czy aby jednak powinno nas cieszyć dobre miejsce wśród słabych zawodników?*

W. Cz.: Oczywiście, że nie jest to powód do dumy. Ranking PARP-u pokazuje nakłady, a nie efekty. Innymi słowy, przytoczone dane mówią o potencjale innowacyjności, a nie o jej efektach. Jeżeli w naszych rozważaniach pójdziemy dalej, nasuwa się następujący niepokojący wniosek: ponieważ Podkarpacie jest w czołówce województw pod względem potencjału innowacyjności, a w ogonie względem wynalazczości, posiadany potencjał jest źle wykorzystywany. Celowo przebarwiam problem, aby pokazać ograniczoną wartość opracowań dotyczących innowacyjności. Znacznie lepiej byłoby, gdyby zamiast przygotowywania coraz to nowych rankingów, podmioty odpowiedzialne za innowacyjność zajęły się likwidowaniem wszelakich barier administracyjnych i finansowych, ograniczających kreatywność przedsiębiorców, naukowców i inżynierów. Wydawanie nawet największych środków, w sytuacji, kiedy przedsiębiorca wdrażając nowe rozwiązania musi walczyć z negatywnie nastawioną do niego biurokracją, nie przyniesie oczekiwanych efektów.

J. K.: *Czy zatem programy wspierania innowacyjności możemy opisać banalnym stwierdzeniem: duże pieniądze – małe efekty?*

W. Cz.: Ich globalna ocena nie jest aż taka zła. Wiele spośród współfinansowanych przedsięwzięć zakończyło się sukcesem. Jednak postawiona teza nie jest pozbawiona podstaw, bowiem trudno przyjąć, że 45 miejsce w Globalnym Indeksie Innowacyjności, to dla nas sukces. Spośród wielu powodów niskiej efektywności wydawania środków wyróżniłbym dwa, moim zdaniem kluczowe. W poprzednich latach, wiele finansowanych projektów dotyczyło modernizacji bazy maszynowej produkcji bądź usług. Najczęściej, ich jedynym skutkiem było obniżenie kosztów tej samej, często niezmiennej od lat produkcji. Inwestowane środki, w żaden sposób nie generowały nowych, innowacyjnych produktów. Drugim niepokojącym działaniem było szczodre finansowanie prac badawczych, których jedynym efektem były publikacje naukowe. Oczywiście, wszelkie publikacje są istotnym stymulatorem postępu technicznego, jednak nie mogą być one finalnym produktem badań stosowanych. Często bywa również i tak, że inwestujemy znaczące środki w sprzęt badawczy, z założeniem że będzie on służył potrzebom przemysłu. W praktyce okazuje się, że nie jest on tym zainteresowany.

J. K.: *Czy powodem nieefektywnego wykorzystania środków nie jest przypadkiem zbyt duża centralizacja działań promujących innowacyjność?*

W. Cz.: Rzeczywiście, innowacyjność kreuje się z poziomu Warszawy. Jednak realizacja znacznej części zadań spoczywa na regionach. Również w obecnym budżecie Unii, część środków przeznaczonych na innowacje i badania naukowe dzielona będzie przez urzędy marszałkowskie. Gdyby rozdzielano je centralnie, mielibyśmy na Podkarpaciu monokulturę naukową, ściśle powiązaną z przemysłem lotniczym. Historia uczy, że wszelaka monokultura, w ostatecznym rozrachunku jest bardzo szkodliwa, wręcz zabójcza dla postępu. Tu właśnie pojawia się szczególnie ważna rola władz samorządowych, które powinny zadbać o różnorodność tematyczną finansowanych projektów.

J. K.: *Czy jednak samorządy są zdolne prowadzić samodzielną politykę promowania innowacyjności?*

W. Cz.: Przeszkód ku temu jest bardzo wiele i występują one w skali całego kraju. Pierwszą z nich są finanse, często niewystarczające nawet na realizację zadań, do których zobligowane są samorządy. W efekcie, koncentrują się one na działaniach o charakterze socjalnym, co z upływem czasu będzie brzemiennie w skutkach. Od lat wiadomo, że kreatywność i innowacyjność należy zaszczerpić już u dzieci szkoły podstawowej, a największą chłonność wiedzy w tym obszarze posiadają gimnazjaliści. Za edukację w szkołach podstawowych i gimnazjalnych, odpowiadają gminy, które z różnych powodów są słabo przygotowane do wdrażania programów promowania innowacyjności, szczególnie wśród dzieci i młodzieży. Brakuje na Podkarpaciu nieszablonych przedsięwzięć, realizowanych bezpośrednio w gminach, a rozwijających zainteresowanie młodzieży nauką i techniką. Wiele interesujących inicjatyw lokalnych było tłumionych już w samym zarodku. Skutkiem tego jest niskie zainteresowanie polskiej, w tym również podkarpackiej, młodzieży studiami na kierunkach technicznych. Tylko kilkanaście procent polskich studentów kształci się na kierunkach związanych z techniką, przemysłem czy budownictwem. W przypadku kierunków rolniczych jest jeszcze gorzej, bo ich liczba nie przekracza 2%. Z drugiej strony, blisko 40% z nich studiuje na kierunkach z grupy nauk społecznych, zarządzania i prawa. Dotychczasowe działania promocyjne udowodniły swoją skuteczność. To właśnie dzięki nim, liczba kandydatów na kierunki z grupy pedagogicznych i społecznych systematycznie spada, przy jednoczesnym wzroście chętnych na ściśle i techniczne kierunki studiów.

J. K.: *Zastanówmy się, jak powinniśmy inwestować na Podkarpaciu środki z nowego budżetu Unii.*

W. Cz.: Możliwości aplikowania zostały znacznie zawężone. Największy nacisk położono na działania kończące się wdrożeniem nowych produktów bądź usług. Promując innowacyjność, należy zadbać o równowagę pomiędzy obiema tymi sferami, dzięki czemu zapewnimy mniejszą wrażliwość rynku pracy na wahania koniunktury. Podobnie jak bezpieczeństwo energetyczne, bezpieczeństwo ekonomiczne wymaga dywersyfikacji przychodów. Nie bez znaczenia jest również fakt, że jednym z efektów finansowania powinno być tworzenie nowych miejsc pracy, a w przypadku usług są ku temu znaczne możliwości. Poziom zatrudnienia w usługach jest wykładnikiem zamożności i jest nam stosunkowo daleko do rozwiniętych społeczeństw. Przykładowo, na Ukrainie 56% zatrudnionych, pracuje w usługach, na Słowacji 57%, w Polsce blisko 62%, w Niemczech prawie 68%, a w Holandii ponad 80%. Przytoczone dane pokazują, że jest jeszcze miejsce na zwiększanie zatrudnienia w sferze usług. Idąc dalej tym, tropem musimy zauważyć, że w dłuższej perspektywie wątpliwym staje się tworzenie nowych miejsc pracy w rolnictwie. Zauważmy, że na Ukrainie pracuje w nim prawie 20% zatrudnionych, w Polsce – ponad 12%, na Słowacji 4%, w Niemczech 2,5%, a w Holandii tylko 2% spośród osób czynnych zawodowo.

J. K.: *Czy usługi mogą być rzeczywiście szansą na rozwój Podkarpacia? Czy nie ogranicza nas położenie geograficzne i słaba infrastruktura drogowa?*

W. Cz.: Aby pokazać nasze możliwości w obszarze usług, warto odwołać się do danych statystycznych. Nie jest prawdą, że infrastruktura drogowa naszego województwa odbiega od reszty kraju. Pod względem gęstości sieci drogowej znajdujemy się nieco poniżej średniej krajowej, ale znacznie wyżej niż takie województwa jak: lubuskie, zachodniopomorskie, czy podlaskie. Niestety, odsetek dróg o złej nawierzchni jest dość wysoki, prawie 3-krotnie wyższy niż, na przykład, w województwie lubuskim. To, że na terenie Podkarpacia nie są zbyt często lokalizowane centra logistyczne, serwisowe czy usługowe, wynika raczej z położenia niż ze złego stanu infrastruktury drogowej. Wbrew często przytaczanej opinii, wątpliwym atutem jest sąsiedztwo z Ukrainą i Słowacją. Zauważmy, że nasza lokalizacja może być mile widziana w przypadku rozwijania usług o charakterze turystycznym. Mamy przepiękne krajobrazowo tereny, czyste środowisko, niepowtarzalną faunę i florę. To właśnie one predestynują Podkarpacie do roli liczącego się ośrodka turystycznego, a jak wiemy turystyka może być stabilnym miejscem zatrudnienia i źródłem dochodów. W Grecji 20% osób czynnych zawo-

dowo pracuje w turystyce, tworzą oni blisko 17% przychodów budżetowych. W czasie kryzysu, branża turystyczna ucierpiała w tym kraju znacznie mniej niż przemysł i pozostałe usługi. Silną stroną Podkarpacia w tym obszarze jest również profesjonalna kadra, wykształcona przez tutejsze uczelnie.

J. K.: *Czym Podkarpacie ma zachęcić turystów, którzy znacznie częściej wybierają sąsiednie województwo małopolskie? Czy w ogóle mamy bazę niezbędną do uprawiania turystyki?*

W. Cz.: Oprócz miejsc świetnie znanych turystom, takich jak Łańcut, Baranów Sandomierski, Krasiczyn, Solina, Polańczyk, Cisna czy Wetlina mamy jeszcze wiele innych, nadzwyczaj ciekawych, a mało znanych miejsc. Wystarczy tylko wymienić południowe Roztocze, Pogórze Przemyskie, Beskid Niski czy Pogórze Dynowskie. Szacuje się, że blisko połowa powierzchni Podkarpacia posiada szczególne walory przyrodnicze, co wyraźnie przewyższa średnią krajową. Z drugiej jednak strony, długość szlaków turystycznych w przeliczeniu na jednostkę powierzchni jest jedną z najniższych w kraju, blisko dwukrotnie niższą od średniej ogólnopolskiej. Również udział osób pracujących przy szeroko pojętej obsłudze ruchu turystycznego mamy najniższy w kraju. Bardzo źle wypada także statystyka dotycząca liczby i wykorzystania miejsc noclegowych. Wystarczy porównać ich liczbę na Podkarpaciu i w Małopolsce. U naszych zachodnich sąsiadów miejsc noclegowych jest ponad 3-krotnie więcej. Jeżeli porównamy ilość świadczonych noclegów to ich liczba w Małopolsce jest ponad 4-krotnie, a dla turystów zagranicznych blisko 17-krotnie większa. Rozkład ruchu turystycznego w naszym województwie jest bardzo nierównomierny. Wystarczy podać dane dotyczące liczby odwiedzających parki narodowe: Bieszczadzki odwiedza rokrocznie około 350 tysięcy osób, Magurski tylko 40 tysięcy. Podsumowując, dla Podkarpacia niezbędny jest plan zrównoważonego rozwoju turystyki.

J. K.: *W skali kraju mieliśmy już ogromną liczbę programów, których wynikiem miało być poprawienie czy udoskonalenie pewnego fragmentu naszej rzeczywistości. Przyzna Pan, że ich skuteczność była różna.*

W. Cz.: W części, trudno się nie zgodzić z Pana opinią. Zauważmy, że realizacja planów rozwojowych zależy od znacznej liczby czynników, na które samorządy nie mają istotnego wpływu. Ponadto, z przykrością zauważam, że tworzone obecnie plany w niewielkim stopniu wykorzystują znane i szeroko stosowane w innych dziedzinach metody modelowania matematycznego. Metody te, już na etapie tworzenia planów, pozwalają z dużym prawdopodobieństwem, przewidzieć skutki podejmowanych decyzji. Oczywiście, w jednych obszarach metody te

są bardziej, w innych mniej skuteczne. Jeżeli celem byłoby prognozowanie wpływu ruchu turystycznego i innych czynników antropogenicznych na środowisko przyrodnicze to dostępne metody są bardzo precyzyjne. Nie jest również problemem, oszacowanie wpływu inwestycji w obszarze turystyki na zmiany społeczno-gospodarcze w regionie. Symulacje takie powinny być obowiązkowym elementem większości programów realizowanych przez samorządy.

J. K.: *Czyli zrównoważony rozwój turystyki to pierwsza szansa Podkarpacia?*

W. Cz.: Obecnie, turyści są źródłem liczących się dochodów przez 3-4 miesiące w roku. W pozostałym okresie zainteresowanie wypoczynkiem jest znacząco mniejsze. Wystarczy przyglądnąć się zajętości miejsc noclegowych, która na Podkarpaciu w skali rocznej nie przekracza 25%. Jednak doświadczamy tego nie tylko my, ale znacznie bardziej rozwinięta turystycznie Małopolska, dla której wspomniana zajętość wynosi 34%. W działalności turystycznej niezwykle istotne jest znalezienie niszy, pozwalającej świadczyć nowe usługi, na które jest popyt, a nie ma konkurencji. Tutaj, kolejny już raz, wkraczamy w obszar innowacyjności, tym razem w turystyce. Wbrew pozorom, znalezienie wspomnianej niszy jest możliwe. Coraz więcej Polaków poszukuje niestandardowych form wypoczynku, niekoniecznie związanych z ekstremalnymi wyczynami, czy też poprawą swojej urody. Często poszukujemy miejsc, gdzie w bezpośrednim kontakcie z przyrodą mogliśmy poratować swoje zdrowie fizyczne, a coraz częściej i psychiczne. Być może szansą jest powiązanie wypoczynku z profilaktyką zdrowia. W tym obszarze nasze możliwości wykorzystane są w bardzo niewielkim stopniu. Problemem nie będzie tutaj kadra, podkarpackie uczelnie kształcą niezbędnych do tego specjalistów.

J. K.: *Jednak turystyka, również ta zdrowotna to nadal usługi. Na wstępie naszej rozmowy zaznaczył Pan, że konieczna jest dywersyfikacja. Co zatem uzupełni sferę usług?*

W. Cz.: Mówiąc o potrzebie dywersyfikacji wskazywałem nie tylko na konieczność wzajemnego uzupełniania się sfery produkcji i usług, ale również na potrzebę zapewnienia zrównoważonego rozwoju różnych gałęzi przemysłu. Aby zachować na niezmiennym poziomie nasze walory turystyczne i przyrodnicze, powinniśmy inwestować w te spośród gałęzi, które nie wymagają dużych ilości energii i materiałów. Produktami powinny być wyroby łączące ze sobą wiedzę z kilku różnych zaawansowanych dyscyplin naukowych. Projektowanie i wykonanie takich produktów wymaga ciągłego rozwoju i doskonalenia kadry naukowo-badawczej. Niestety, w przeciągu 2013 roku na Podkarpaciu zanotowaliśmy ogromny, bo ponad 25% spadek zatrudnienia w działalności naukowej i tech-

nicznej. W tym samym czasie województwo mazowieckie odnotowało kilkuprocentowy wzrost. To bardzo niepokojące zjawisko!

J. K.: *Wiemy już, że sztandarowy produkt Podkarpacia powinien być miniaturowy i opierać się na najnowocześniejszej myśli technicznej. Trudno o bardziej enigmatyczny opis. Zatem, o czym Pan myśli?*

W. Cz.: Wśród wynalazców znane jest powiedzenie, że wszystkie proste rzeczy zostały już wymyślone. Innymi słowy – nie ma prostej odpowiedzi na to pytanie. Musimy szukać niszy, w której możemy zaistnieć. Wytwarzanie produktów o skali masowej jest zdominowane przez producentów dalekowschodnich i z uwagi na charakterystyczne dla nich niskie koszty wytwarzania, konkurencja z nimi jest bardzo trudna lub wręcz niemożliwa. Sądzę, że powinny to być wysokotechnologiczne, dynamicznie zmieniające się wyroby z ograniczoną skalą produkcji.

J. K.: *Czyli....*

W. Cz.: Zapewne oczekuje Pan ode mnie konkretnych przykładów. Niestety, to bardzo cenna informacja, której uzyskanie poprzedzają długie i kosztowne badania. Ponieważ wcześniej rozmawialiśmy o zdrowiu, w oparciu o tę branżę, przedstawię pewne propozycje. Doskonale wiemy, że skuteczność większości terapii medycznych, uzależniona jest od ich przestrzegania. Wiemy również, że stosowanie się do zaleceń lekarza to słaba strona większości z nas. Dlatego, można byłoby opracować i wdrożyć mobilne urządzenie śledzące tryb życia pacjenta. Dzięki komunikacji zewnętrznej, mogłoby ono nie tylko informować o niedozwolonych zachowaniach, ale również generować ostrzeżenia o potencjalnych zagrożeniach. Oczywiście, nie mówimy tutaj o urządzeniu przypominającym o potrzebie zażycia farmaceutyków, a o wielokrotnie bardziej złożonych rozwiązaniach. Mogłyby one być wykorzystywane w warunkach ambulatoryjnych i domowych, na przykład, przy leczeniu i profilaktyce schorzeń kręgosłupa.

J. K.: *Czy aby zaawansowane technologie medyczne nie są zarezerwowane dla światowych potentatów w tym obszarze?*

W. Cz.: Oczywiście, że tak, ale nie mówimy tutaj o protezach bionicznych, robotach rehabilitacyjnych czy egzoszkieletach. Inwestowanie w te rozwiązania jest ryzykowne, bowiem wymaga gigantycznych nakładów, bardzo długiego procesu badawczo-wdrożeniowego i rozbudowanego marketingu. Oczywiście, zawsze można powiedzieć, że nasze badania będą szczególne i zrewolucjonizują daną dziedzinę medycyny. Jednak miernikiem końcowego sukcesu jest zawsze rynek, jeżeli naszych rozwiązań nikt nie wdroży, a jedynym efektem badań będą prototyp i opisu-

jące go publikacje to zainwestowane środki zostały wykorzystane nieefektywnie. Pragnę jeszcze zwrócić uwagę na inny szczegół, otóż obowiązkiem każdego inżyniera i badacza jest realna ocena możliwości komercjalizacji swoich prac. Niestety, w wielu przypadkach ocena ta jest nader optymistyczna.

J. K.: *A co z informatyką, która postrzegana jest przez nas, jako jedna z podkarpackich specjalności?*

W. Cz.: Przekonanie o szczególnym udziale informatyki w życiu gospodarczym Podkarpacia jest przesadzone. Choć na terenie naszego województwa działają firmy uważane za liderów tej branży, sumaryczny potencjał podmiotów informatycznych jest w porównaniu do części pozostałych województw raczej skromny. Symptomatycznym jest fakt, że na terenie Podkarpacia nie ulokował swojego centrum badawczego żaden z globalnych producentów informatyki. Branża ta wygląda znacznie lepiej od strony dydaktycznej i naukowej. Na Podkarpaciu kształcimy doskonałych specjalistów, którzy, niestety, w dużej części, bez problemu znajdują zatrudnienie poza naszym województwem. Niekwestionowanym liderem jest tutaj Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie.

J. K.: *Ponieważ w odpowiedzi na poprzednie pytanie wymienił Pan jedną z wiodących uczelni Podkarpacia, zastanówmy się jaka powinna być rola uczelni wyższych w promowaniu innowacyjności.*

W. Cz.: Rolę uczelni, we wszystkim, co związane jest z innowacyjnością trudno jest przecenić. Po pierwsze, powinna ona wyrabiać u studentów nawyki twórczego myślenia. Nawyki te, będą w późniejszej pracy zawodowej sprzyjać nieszablonowemu podejściu absolwentów do zadań zleczanych przez pracodawcę. Po drugie, sama uczelnia powinna być źródłem innowacji. To właśnie z uczelni powinny płynąć pomysły na poprawę konkurencyjności naszej gospodarki. Po trzecie, uczelnie powinny wszechstronnie wspomagać przedsiębiorców w procesie unowocześniania ich zakładów, poczynszy od doradztwa, na projektowaniu, wykonaniu i wdrażaniu gotowych rozwiązań skończywszy.

J. K.: *Wymienione przez Pana zadania uczelni w obszarze innowacyjności, to bardziej lista życzeń, niż odzwierciedlenie rzeczywistości. Jaki jest faktyczny obraz wpływu polskiego szkolnictwa wyższego na nowoczesność naszej gospodarki?*

W. Cz.: Zgodzę się z Panem, że rzeczywistość nie rysuje się wyłącznie w jasnych barwach. Jednak uczelnie nie zawodzą na wszystkich frontach, nie można rów-

nież całej winy za obecny stan zrzucić na nie. Zauważmy, że w obszarze kształcenia, uczelnie spełniają swoje zadanie stosunkowo dobrze, o czym świadczą czołowe miejsce polskich studentów w różnorodnych międzynarodowych konkursach. Być może, student po opuszczeniu murów uczelni nie jest już aż tak zmotywany, a może najbardziej kreatywne jednostki opuszczają nasz kraj, szukając innych miejsc spełnienia swoich ambicji zawodowych. Realnym jest również scenariusz, zgodnie z którym, trafiają oni do międzynarodowych korporacji, które wykorzystują ich pomysły do własnych celów. W obszarze tworzenia przez uczelnie własnych, innowacyjnych rozwiązań technicznych, rzeczywiście trudno jest się pochwalić czymś szczególnym. Główną winę za taki stan ponosi sposób finansowania uczelni wyższych. Część z nich, utrzymuje się prawie wyłącznie ze środków budżetowych, przekazywanych na kształcenie studentów. Pewne wypaczenia, mają miejsce również w programach regionalnych. W większości województw obserwujemy sytuację, kiedy przyznając kolejne fundusze na prowadzenie badań czy rozwój infrastruktury badawczej nikt nie weryfikuje, czy skutkiem wykorzystania wcześniejszych środków, była poprawa innowacyjności regionu. W ten sposób inwestujemy fundusze w kolejne budynki i sprzęt badawczy, które w żaden sposób nie przekładają się w poprawę konkurencyjności regionu. Trochę lepiej wygląda zaangażowanie uczelni w proces wspomagania innowacyjności przedsiębiorstw. W tym obszarze, podjęto wiele działań, propagujących nowoczesne rozwiązania techniczne i organizacyjne. Szkoda tylko, że większość uczelni nie angażuje się w bezpośrednią pomoc przedsiębiorcom.

J. K.: *Tak więc, dokąd powinno zmierzać Podkarpacie?*

W. Cz.: Odpowiedź może być tylko jedna: w świat różnorodnych, ściśle powiązanych ze sobą technologii, szeroko wykorzystujących informatykę, elektronikę i mechatronikę. Będące w naszej dyspozycji środki powinny być dzielone tak, aby wspomagać szczególnie te dyscypliny, które nie mogą liczyć na wsparcie centralne. Celową byłaby również chwila refleksji nad dotychczasowymi wydatkami, czy środki te przyniosły efekty różne od: kolejnych budynków, zakupu nowej aparatury badawczej bądź publikacji kolejnych artykułów.

ROZDZIAŁ 2

Terminologiczne i metodologiczne problemy prognozowania zjawisk katastroficznych na poziomie regionalnym

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ, Beata FLOREK

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie
Miroslaw.Hajder@gmail.com, JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl, BeataFlorek@wp.pl

Streszczenie

W rozdziale, przedstawiono analizę krytyczną metod i środków minimalizacji skutków pojawiania się katastrof o charakterze regionalnym. Omówiono najważniejsze przyczyny stałego wzrostu liczby katastrof oraz wielkości ich negatywnych skutków, wskazując na coraz częstszy ponadnarodowy charakter tych zjawisk. Porównano podejścia wykorzystywane do walki z katastrofami, określając przyczyny zauważalnej dominacji likwidacji skutków nad przeciwdziałaniem ich występowaniu, dokonano analizy chaosu terminologicznego panującego w badaniach, zaproponowano sposoby uporządkowania pojęć. Omówiono i sklasyfikowano metody prognozowania katastrof, przypisując każdej z nich konkretny obszar zastosowań. Zaproponowano tematy badawcze, na których powinna skoncentrować się współczesna nauka.

1. Definicja zadań i obszaru badań

Panta rhei – to stwierdzenie Heraklita z Efezu doskonale ilustruje funkcjonowanie współczesnego świata. Chociaż odnosimy go głównie do sfery społecznej to w ciągłym ruchu znajduje się cała otaczająca nas rzeczywistość. Coraz częściej pojawiające się katastrofy są, przede wszystkim, rezultatem permanentnych zmian środowiskowych, zachodzących również na skutek działalności człowieka. W języku potocznym, *katastrofa*, to nagła zmiana charakterystyk otaczającego nas świata [1], [2]. Może mieć ona charakter *twórczy*, pozytywnie przekształcający otoczenie lub *destrukcyjny*, negatywnie wpływający na środowisko i społeczeństwo.

Badania w ramach projektu: *Neuronowe i immunologiczne wspomaganie analizy i syntezy modeli obiektów technicznych na bazie struktur wykorzystujących grafy rzadkie w warunkach niekompletności informacji*. Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu Państwa w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007 – 2013. Inwestujemy w rozwój województwa podkarpackiego.

Katastrofy, to naturalne zjawiska rozwoju świata i ich pojawianie jest nieuchronne. Jeżeli nie będziemy przygotowani na nie, mogą one skutkować poważnymi konsekwencjami dla człowieka i jego otoczenia [3], [4], [5].

Analizą zagrożeń zajmuje się fundamentalna dyscyplina naukowa, nazywana *ogólną teorią bezpieczeństwa* (OTB) [4], [6]. Pierwszoplanowym obiektem badań OTB jest określenie fundamentalnych prawidłowości przejścia naturalnych systemów przyrodniczych, obiektów technicznych, sfery biologicznej i struktur społeczno-gospodarczych ze stanu normalnego funkcjonowania, do stanu awaryjnego lub katastroficznego, a także zasad ich wzajemnego współdziałania w procesie wspomnianej zmiany stanu. Ponadto, OTB zajmuje się budową naukowych podstaw diagnozowania, monitoringu i prognozowania zagrożeń, a także metodami przeciwdziałania katastrofom i likwidacji ich skutków. W OTB, szczególne znaczenie zajmuje określenie sposobów szacowania i pomiarów skali zagrożeń oraz poziomu ochrony obiektów i obszarów. Na tej podstawie, definiowane są ilościowe i jakościowe parametry podejmowanych decyzji, zawartość dokumentów normatywnych oraz konkluzje komisji badających skutki awarii i katastrof. W OTB, za najbardziej uogólnione kryteria oceny, przyjęto uważać poziom ryzyka dla zdrowia i działalności człowieka, a także jakość i zagrożenia jego życia.

Do najważniejszych przyczyn pojawiania się katastrof, zaliczamy obecnie [1], [4], [7], [8], [9], [10]:

1. Zwiększoną wrażliwość na czynniki zewnętrzne środowiskowej i technologicznej sfery życia, wynikającą m. in. z naruszenia naturalnej równowagi w przyrodzie, poprzez masowe wykorzystanie zdobyczy nauki i techniki, obcych naturalnemu środowisku;
2. Utrudniające naturalną regenerację biosfery: antropogeniczne przekształcenie środowiska naturalnego, poszerzenie technosfery, a także masową eksploatację dotychczas dziewiczych obszarów Ziemi;
3. Wysoką wrażliwość społecznej sfery życia na klęski żywiołowe i technologiczne, przejawiającą się potęgowaniem negatywnych skutków katastrof.

Chociaż na Podkarpaciu, nie występują zjawiska niosące najpoważniejsze zagrożenia, takie jak: trzęsienia ziemi, zjawiska wulkaniczne, tornada czy tsunami, prawdopodobieństwo pojawienia się innych rodzajów katastrof naturalnych, technologicznych czy humanitarnych jest ciągle wysokie. Najistotniejsze zagrożenia województwa, to w głównej mierze konsekwencje: niestabilności geopolitycznej regionu, obecności zakładów przemysłowych wykorzystujących niebezpieczne technologie, zakrojonej na szeroką skalę produkcji militarnej, lokalizacji jednostek wojskowych biorących udział w walce z terroryzmem oraz coraz częstszych, gwałtownych zjawisk pogodowych. Z tego powodu, bezzwłocznie należy podjąć wielostronne działania, mające na celu prognozowanie wystąpienia oraz przeciwdziałanie pojawianiu się katastrof. W pierwszej kolejności, prace te powinny obejmować badania naukowe w danych obszarach. Ich celem nadrzędnym powinna być maksymalizacja bezpieczeństwa ludzi i mienia, przy jednoczesnej

minimalizacji kosztów likwidacji następstw nieuchronnych katastrof [8], [9], [11], [12], [13].

Badania dotyczące bezpieczeństwa w obszarach naturalnym i technologicznym obejmują zazwyczaj trzy płaszczyzny: teoretyczną, aplikacyjną oraz zarządczą. Prace realizowane w płaszczyźnie *teoretycznej* mają na celu: pozyskanie nowej wiedzy, pozwalającej zrozumieć zachodzące zjawiska oraz przygotowanie zaleceń, określających metody przeciwdziałania zagrożeniom. Badania *aplikacyjne* zajmują się przygotowaniem wytycznych projektowania i budowy bezpiecznych obiektów technicznych, oceną poziomu stabilności istniejących budowli, sposobami przedłużenia okresu ich bezpiecznej eksploatacji lub poprawą odporności na występujące zagrożenia. Ponadto, w ich ramach przygotowuje się metody prognozowania zmian stanu systemów naturalnych i technicznych oraz szybkiego podejmowania działań zmierzających do minimalizacji szkód wywołanych przez klęski żywiołowe. Prace w płaszczyźnie *zarządzania*, mają na celu opracowanie i wdrożenie procedur reagowania na zagrożenie na każdym z poziomów władzy państwowej i samorządowej.

Na powyższych płaszczyznach powinny być prowadzone zarówno badania podstawowe, jak i stosowane. Głównymi zadaniami badań podstawowych są: określenie najważniejszych zasad bezpieczeństwa złożonych systemów technicznych, klasyfikacja katastrof oraz obiektów technicznych i ich podatności na zagrożenia, a także poszukiwanie sposobów przeciwdziałania katastrofom i minimalizacji ich negatywnych skutków. Badania te powinny uwzględniać wszelkie uwarunkowania rozwoju społeczno-gospodarczego. Zakres prac powinien obejmować analizę prawidłowości regulujących pojawianie i przebieg katastrof charakteryzujących się okresowością występowania, a także poziom strat ponoszonych przez ludność, przedsiębiorstwa, jak również przez środowisko naturalne. Na ich podstawie, przygotowuje się scenariusze przebiegu katastrof, wybiera i wdraża efektywne metody ochrony. Rozwiązując powyższe zadania, niezbędnym jest prowadzenie badań systemowych w obszarach: geologii, hydrologii, mechaniki, fizyki i in., bezpośrednio odnoszących się do badanych katastrof. Prace te powinny opierać się na zastosowaniu modeli wielowymiarowych i modelowania imitacyjnego, co implikuje ich czaso- i kosztochłonność. Wysoką złożonością charakteryzują się także badania nad minimalizacją skutków katastrof. Prace prowadzone w obszarze badań podstawowych nie mogą wykluczyć badań eksperymentalnych. Zazwyczaj są one podstawą wyznaczenia prawidłowości wiążących symptomy katastrofy z ich pojawianiem. Nierzadko, badania te przynoszą zaskakujące wyniki. Przykładowo, trzęsienia ziemi zazwyczaj poprzedzają zmiany struktury przestrzennej jonosfery.

Najbardziej oczekiwanym wynikiem badań podstawowych są nowe, skuteczniejsze metody prognozowania zagrożeń. Mogą być nimi również sposoby minimalizacji skutków katastrof, a także atlasy zagrożeń naturalnych i technologicz-

nych, przygotowywane dla obszarów z największą koncentracją niekorzystnych zjawisk.

Podobnie jak w przypadku innych dyscyplin naukowych, *badania stosowane* prowadzone są zazwyczaj w oparciu o wyniki badań podstawowych. Prace te obejmują dostosowanie przygotowanych wcześniej teorii do ich wdrożenia na bazie dostępnych rozwiązań technicznych. Badania stosowane, szeroko wykorzystują analizę systemową, pozwalającą opracować i wdrożyć zestaw ogólnych zasad, którymi należy się kierować, w celu zagwarantowania skuteczności i bezpieczeństwa ochronnych systemów technicznych. W szczególności, budując je, należy opierać się na poniższych, podstawowych zasadach:

1. *Zasadie wielopoziomowości systemu ochrony.* Systemy ochronne powinny mieć strukturę warstwową, pozwalającą kompensować skutki potencjalnych uszkodzeń własnych komponentów. Należy zapewnić automatyczne ograniczenie funkcjonalnych i decyzyjnych właściwości systemu w przypadku jego uszkodzenia. Ograniczenia te limitują zakres automatycznych działań, w stosunku do normalnej pracy i pojawiają się natychmiast po wykryciu uszkodzenia;
2. *Zasada niezależności i różnorodności.* Zakłada ona możliwość wystąpienia uszkodzenia lub błędów w systemie ochronnym. Oznacza to, że niesprawność wybranych elementów, nie ogranicza funkcjonalności systemu jako całości. W praktyce, implementacja danej zasady sprowadza się do nadmierowania czasowego, sprzętowego i funkcjonalnego systemów ochronnych;
3. *Zasada autodiagnostyki.* Zgodnie z nią, najbardziej prawdopodobne niesprawności systemu, będące skutkiem zagrożenia, są diagnozowane autonomicznie przez sam system, znacznie wcześniej niż wykrywane jest samo zagrożenie.

Choć badania nad katastrofami prowadzone są od kilkadziesiąt lat [14], [15], [16], [17], to właśnie ostatnie lata, z wielu różnych powodów, zmieniły naukowe podejście do badania tych zjawisk. *Po pierwsze*, z początkiem XXI wieku pojawiło się wiele nowych analitycznych i empirycznych narzędzi badawczych, pozwalających poprawić skuteczność prognozowania wystąpienia i przebiegu zjawisk katastroficznych. W szczególności, powszechnie dostępne stały się bezprzewodowe sieci sensorowe WSN (ang. *Wireless Sensor Network*), pozwalające z dużą precyzją, w czasie rzeczywistym, śledzić zmiany wybranych parametrów środowiska i dowolnych obiektów technicznych [18], [19]. Na podstawie pozyskanych z nich informacji, są opracowywane i eksploatowane, coraz to doskonalsze modele matematyczne zachodzących zjawisk. *Po drugie*, pojawiły się nowe typy zagrożeń, występujące dotąd w znacznie mniejszej skali i niebędące przedmiotem zainteresowania naukowców i polityków [10], [6]. Przykładem są tutaj katastrofy humanitarne, które jeszcze kilka dziesięcioleci temu były najczęściej przemilczane. Zazwyczaj, są one skutkiem niestabilności społeczno-politycznej, ale ich przyczyną mogą być także katastrofy naturalne i technologiczne.

Szczególny rodzaj zagrożeń niesie ze sobą rozwój nauki i techniki. Początkowo, miał on charakter twórczy, ukierunkowany na poprawę poziomu życia. Z czasem, wraz z wyczerpywaniem się bogactw naturalnych, wzrostem konkurencji i globalizacją gospodarki światowej, dla dużych korporacji stał się on podstawowym narzędziem pogoni za zyskiem. *Po trzecie*, informatyka dostarczyła nowych, wydajniejszych i bardziej niezawodnych środków przetwarzania, pozwalających jednocześnie analizować wszystkie zagrożenia występujące na danym obszarze. Dzięki temu, opracowywane prognozy są kompleksowe, bardziej precyzyjne i dostarczane z większym wyprzedzeniem [6], [20], [21], [22].

Potrzeba kompleksowości badań w obszarze katastrof, niesie ze sobą szereg nowych, nieznanych wcześniej problemów. Jednym z nich jest interdyscyplinarność, wymuszająca prowadzenie badań z wykorzystaniem wielu, nierzadko bardzo odległych od siebie dyscyplin naukowych [23]. Niektóre z nich, korzystają z terminologii i metodologii przygotowanych specjalnie do badania konkretnego zjawiska, inne zaś wykorzystują uniwersalne techniki, charakterystyczne dla danej dziedziny [24], [25]. Jednak w obu przypadkach, z uwagi na istotne różnice terminologiczne i metodologiczne, ścisłe współdziałanie ze sobą grupy dyscyplin jest bardzo utrudnione. W rezultacie, interdyscyplinarność badań jest tylko pozorna, co wyklucza możliwość pojawienia się pożądanego efektu synergii.

Obecnie, walka z katastrofami, najczęściej sprowadza się do opracowania procedur likwidacji ich skutków. Podejście takie jest nieefektywne i w dłuższej perspektywie przyniesie poważne negatywne konsekwencje. Każda kolejna katastrofa, powoduje niepowetowane straty w środowisku i społeczeństwie, w wielu przypadkach niemożliwe już do nadrobienia. Dlatego, aktualnie należy skoncentrować się na działaniach prewencyjnych, minimalizujących prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń. Ograniczenie się do usuwania skutków katastrof wynika z:

1. *Złożoności zadania prognostycznego.* Już samo przewidywanie pojawienia się zagrożenia jest zadaniem złożonym, wymagającym uwzględnienia ogromnej liczby różnorodnych czynników. Modelowanie skuteczności działań prewencyjnych jest procesem jeszcze bardziej skomplikowanym. Ponadto, rezultaty większości takich badań, nie są wdrażane, co nie sprzyja zainteresowaniu ich finansowaniem;
2. *Niedoskonałości w podziale obowiązków.* Dbałość o stan obiektów ochronnych spoczywa na znacznej ilości organizacji, zarówno na powołanych do tego służbach państwowych, jak również samorządach oraz prywatnych i publicznych podmiotach gospodarczych, a także osobach fizycznych. Służby mają zazwyczaj ograniczony wpływ na właścicieli lub zarządców obiektów, którzy nie troszczą się o stan techniczny infrastruktury ochronnej.
3. *Niedoskonałej struktury organizacyjnej.* Rola państwa w monitoringu środowiska i stanu infrastruktury ochronnej na poziomie regionalnym jest niewystarczająca. W mikroskali, monitoring jest realizowany przez znaczną liczbę, niepowiązanych ze sobą jednostek, z których każda, zajmuje się ograniczo-

nym obszarowo i jakościowo pomiarem parametrów. Ponadto, podmioty te nie mają obowiązku prognozowania katastrof;

4. *Przewlekłości procesów prawno-politycznych.* Przyczyny i skutki wielu spośród zagrożeń mają charakter ponadnarodowy. Przeciwdziałanie im wymaga uzgadniania i ratyfikowania umów międzynarodowych, co jak pokazuje doświadczenie, jest procesem wyjątkowo długotrwałym i kosztownym. Niestety, przeciąganie się wielostronnych uzgodnień, często przyczynia się do zwiększania strat wynikających z braku działań zapobiegawczych.

Pomimo powyższych ograniczeń, należy oczekiwać, że w niedalekiej przyszłości bazujące na modelowaniu metody prewencyjne będą się intensywnie rozwijać, a ich rola zostanie zauważalnie poszerzona.

2. Niejednorodność terminologiczna

Ogólna teoria bezpieczeństwa opiera się na terminologii włączającej takie pojęcia jak: bezpieczeństwo, zagrożenie, ochrona, prawdopodobieństwo, ryzyko, awaria, katastrofa, sytuacja nadzwyczajna, środowisko naturalne, czynniki rażenia, niebezpieczny wpływ, reakcja systemu i in. Niestety, analiza materiałów źródłowych z dziedziny modelowania obiektów i katastrof pokazuje, że w obszarach tych panuje nieład terminologiczny i metodologiczny, wynikający z niedostatecznej systematyzacji obu wskazanych obszarów. W przestrzeni terminologicznej, wykorzystywane są wyłącznie płaskie klasyfikacje rodzajowe, bazujące na typie obiektu bądź zjawiska. Pomimo zbieżności, a w wielu przypadkach identyczności opisu matematycznego, wykorzystanie przygotowanych metodologii jest zawężone wyłącznie do badania zachowania konkretnego typu obiektu lub zjawiska. W rezultacie, prowadzone badania nie są interdyscyplinarne, co skutkuje brakiem efektu synergii, a wyniki prac mogą być wykorzystywane wyłącznie w jednej dyscyplinie naukowej. Powyższe prawidłowości, obserwuje się w takich obszarach jak: mechanika i elektrotechnika, hydrologia i geologia, chemia i biologia, zarządzanie kryzysowe, polityka, psychologia i socjologia. Celowym jest zatem podjęcie prac nad ujednoczeniem aparatu pojęciowego, służącego do opisu obiektów i zachodzących z ich udziałem zdarzeń.

W przeciągu ostatniego dziesięciolecia, w obszarze badań nad zagrożeniami, pojawiła się nowa tendencja. Z uwagi na masowe zastosowanie personalnego sprzętu komputerowego o niskiej cenie i relatywnie niewielkiej mocy obliczeniowej, obserwuje się odchodzenie od wykorzystania uogólnionych modeli i metodyk badawczych, na rzecz uszczegółowionych, adresowanych do bardzo wąskiego obszaru tematycznego. Dzięki takiemu podejściu, tworzenie dedykowanych aplikacji informatycznych znacznie się upraszcza, zmniejszają się również ich złożoności: pamięciowa i czasowa, przy jednoczesnym zwiększeniu wydajności w skali makro. Kosztem takiego podejścia jest powielanie przez różne zespoły prac nad budową i wdrożeniem, nierzadko bardzo złożonych aplikacji [24].

W opisywanym przypadku, badania dotyczą wąskiego obszaru tematycznego i problem niejednorodności terminologiczno-metodologicznej odgrywa drugoplanowe znaczenie. Jednak wraz ze wzrostem mocy obliczeniowej komputerów PC, opisywana tendencja będzie stopniowo zanikać, a wspomniany problem niejednorodności powróci ze zwielokrotnioną siłą.

Ujednoczenia terminologicznego, w pierwszej kolejności, należy poszukiwać w obszarze matematycznej teorii katastrof (MTK) R. Thom'a i Ch. Zeeman'a [3], [26], [27]. MTK zajmuje się analizą przestrzenno-czasowych modeli i praw rozwoju katastrof, zachodzących w systemach i strukturach złożonych, bez szczegółowego rozróżnienia rodzajów obiektów i zjawisk. Niestety, nawet w ramach samej MTK brakuje jednolitości terminologicznej. Zgodnie z definicją podawaną w pracach V. I. Arnolda katastrofa to gwałtowna jakościowa zmiana obiektu, w wyniku jednostajnej ilościowej zmiany jego parametrów. Z kolei definicja, zgodna z pracami H. Poincare, określa katastrofę, jako utratę stabilności harmonicznego ruchu systemu i jego skokowe przejście do nowego stanu równowagi, z aktualnymi parametrami tegoż ruchu. Z tego i kilku innych powodów, należy przyjąć, że bezpośrednio wykorzystanie nazewnictwa, pochodzącego z matematycznej teorii katastrof nie jest możliwe, a MTK powinna posłużyć wyłącznie, jako punkt wyjścia do budowy nowego, uogólnionego aparatu pojęciowego.

O ile wykorzystanie matematycznej teorii katastrof do ujednoczenia aparatu pojęciowego interdyscyplinarnych badań nad zagrożeniami nie budzi wątpliwości, to jej zastosowanie do ich prognozowania jest bardzo problematyczne. MTK pozwala skutecznie analizować wyłącznie zachowania systemów technicznych, a wykorzystanie jej w biologii, psychologii, socjologii bądź do analizy rynku kapitałowego, skutkuje jedynie przygotowaniem mało precyzyjnych, heurystycznych oszacowań zachodzących zmian. W odniesieniu do obiektów technicznych, MTK rozwiązuje tylko zadanie określenia warunków powstania katastrofy, nie pozwalając nawet oszacować jej lokalizacji i momentu wystąpienia [27], [28], [26], [29], [30], [31], [32]. Dlatego, należy przyjąć, że precyzyjne prognozowanie katastrof, trzeba oprzeć na wykorzystaniu specjalistycznych metod i metodyk powstałych m. in. na bazie MTK.

Niejednoznaczność i niejednorodność terminologiczna dotyczy również strony prawnej opisu katastrof. Przykładem może tu posłużyć określenie siły wyższej. W komentarzach do prawa cywilnego, niejednokrotnie zwracano uwagę na dyskusyjność i niejednoznaczność legalnego określenia *siła wyższa*. Sygnalizowany problem jest istotny, ponieważ określenie to, pojawia się w wielu umowach cywilno-prawnych, w klauzulach zwalniających strony z odpowiedzialności za istniejące szkody. Ekspertki skłaniają się do interpretacji, zgodnie z którą cechami kwalifikującymi siły wyższej są nadzwyczajność i nieuniknioność w danych warunkach. Jednocześnie, nadzwyczajności przypisują wyjątkowość i dużą siłę działania, z kolei nieuniknioność wiązana jest z niemożliwością zapobieżenia szko-

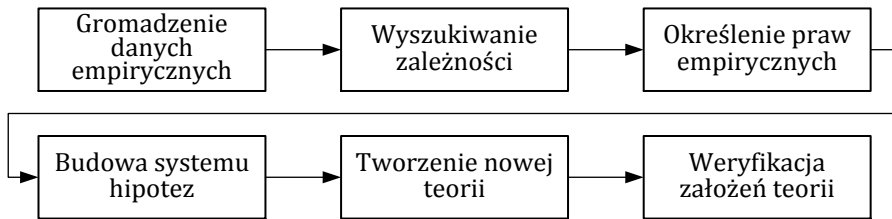
dliwemu działaniu siły wyższej, za pomocą środków dostępnych danemu podmiotowi.

Podobne wątpliwości prawne, pojawiają się przy próbie jednoznacznej interpretacji terminu *sytuacja nadzwyczajna*. W szczególności, błędną jest interpretacja uznająca każdą sytuację nadzwyczajną, jako siłę wyższą. Część spośród znanych definicji, za sytuację taką uznaje stan zagrażający suwerenności państwa, podstawom ładu konstytucyjnego, bezpieczeństwu obywateli, normalnej działalności instytucji państwowych oraz samorządowych i wymagający podjęcia przez społeczeństwo i państwo energicznych, ekstremalnych i nadzwyczajnych działań prawno-organizacyjnych mających na celu jego likwidację.

3. Metody prognozowania zjawisk katastroficznych

3.1. Interdyscyplinarność prognozowania

Ogólna teoria bezpieczeństwa, włączająca analizę zjawisk katastroficznych, w ostatnim dziesięcioleciu istotnie zmieniła swoje podejście do prowadzonych badań. W miejsce analizy danych empirycznych i tworzenia selektywnych modeli matematycznych, przeszła ona do kompleksowego badania wzajemnie powiązanych zjawisk i ich skutków. Klasyczne podejście do budowy OTB zaprezentowano na rys. 1.

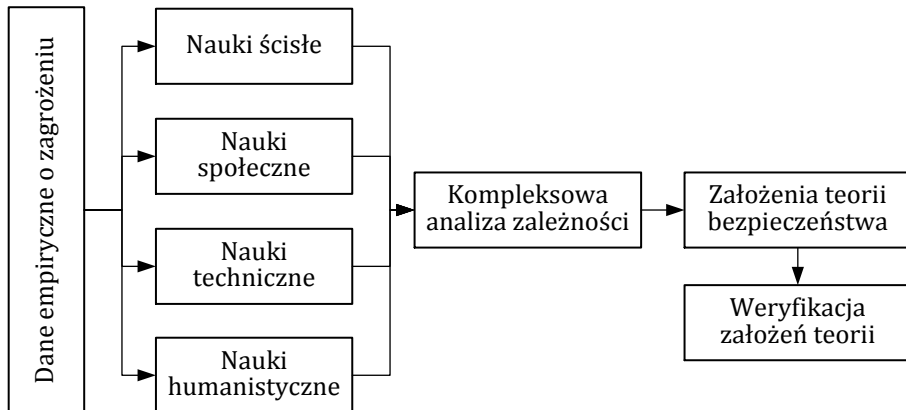


Rys. 1. Klasyczne podejście do budowy ogólnej teorii bezpieczeństwa

Zgodnie z nim, tworzenie teorii, rozpoczyna się od gromadzenia danych empirycznych opisujących wybrane zjawisko, pochodzących z wieloletnich obserwacji lub pomiarów. Następnie, z wykorzystaniem analizy statystycznej bądź innych metod formalnych, określone są współzależności pomiędzy zebranymi danymi i zachodzącymi zjawiskami. Na ich podstawie, definiowane są prawa empiryczne opisujące badane zjawisko, wykorzystywane dalej do budowy systemu hipotez. Na ich bazie tworzona jest nowa teoria, podlegająca późniejszej weryfikacji. Ponieważ powstaje ona w wyniku wybiórczej analizy, zarówno przebiegu zjawisk, jak i mechanizmów ich powstawania, nie uwzględnia ona całości zmian zachodzących w środowisku naturalnym, technicznym i społeczno-gospodarczym.

Zagrożenia analizowane przez OTB są zazwyczaj wzajemnie powiązane. Oznacza to, że skutkiem wystąpienia jednego zjawiska jest nieuchronne pojawienie innego, nierzadko o diametralnie różnej przyrodzie. Przykładowo, wielkoskalowe katastrofy naturalne obligatoryjnie implikują katastrofy humanitarne. W klasycz-

nym podejściu, oba rodzaje katastrof są prognozowane i analizowane niezależnie. Istotą podejścia interdyscyplinarnego jest jednoczesne badanie grupy różnych zagrożeń z wykorzystaniem wielu dyscyplin naukowych. Koncepcję budowy ogólnej teorii bezpieczeństwa w oparciu o interdyscyplinarną analizę zachodzących zjawisk, przedstawiono na rys. 2.

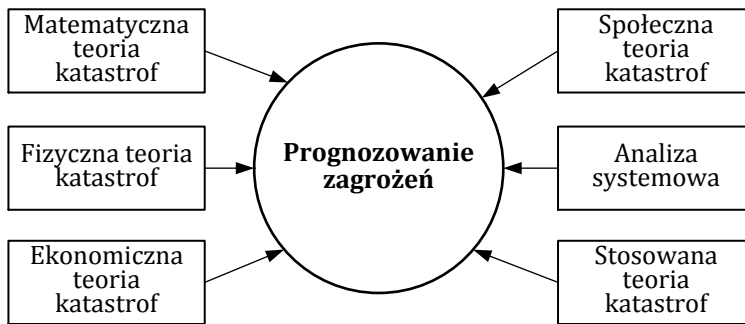


Rys. 2. Interdyscyplinarne podejście do tworzenia ogólnej teorii bezpieczeństwa

Podobnie jak w poprzednim przypadku, procedurę budowy OTB, rozpoczyna gromadzenie danych empirycznych charakteryzujących zagrożenie, które następnie są analizowane za pomocą zestawu dyscyplin naukowych, opisujących zjawisko. Następnie, wykonywana jest kompleksowa analiza zależności, określająca korelacje pomiędzy poszczególnymi komponentami, na bazie której tworzone są podstawowe założenia OTB. W najprostszym przypadku, interdyscyplinarność pozwala analizować różnorodne skutki (środowiskowe, społeczne lub ekonomiczne) konkretnego zagrożenia. Możliwe jest również jednoczesne badanie wielu zagrożeń, co wymaga jednak znaczących mocy obliczeniowych, niezbędnych do uruchomienia grupy wzajemnie powiązanych modeli matematycznych. Podejście interdyscyplinarne można również wykorzystywać do opracowania prognoz pojawienia, przebiegu, a także przeciwdziałania zjawiskom katastroficznym.

Matematyczna teoria katastrof jest algorytmiczną podstawą procedur prognozytycznych. Z uwagi na zbytnią ogólność, wykorzystanie klasycznej MTK, nie jest zalecane. Wykorzystywana teoria, powinna analitycznie opisywać zjawiska zachodzące w trakcie katastrof, zapewniając jednocześnie możliwość implementacji modelu w postaci programu komputerowego. *Fizyczna teoria katastrof* określa przestrzenno-czasowe charakterystyki ich przebiegu. Teoria ta, powinna szczegółowo opisywać zjawiska zachodzące, zarówno w trakcie katastrofy, jak i przed oraz po jej zaistnieniu. *Ekonomiczna teoria katastrof* zajmuje się analizą wzajemnego wpływu ekonomii i zagrożeń. Powinna ona uwzględniać oddziaływanie katastrof na ekonomikę regionu, a także wpływ tej ostatniej na pojawianie się zagrożeń.

Społeczna teoria katastrof analizuje uwarunkowania powstawania i przebiegu katastrof, wynikające z przebywania ludzi na obszarze objętym zdarzeniem. Teoria ta, analizuje czynniki społeczne, przyczyniające się do powstawania zagrożeń, a także pogłębiające negatywne skutki katastrof. *Analiza systemowa* bada właściwości katastrof, w szczególności określa ujednolicone fizyczne i społeczne prawidłowości ich powstawania i przebiegu, wykorzystywane w procesie prognozowania. *Stosowana teoria katastrof* (STK) jest elementem wiążącym wszystkie dyscypliny tworzące procedurę prognozowania. W ramach STK, opracowywane są interdyscyplinarne metodyczne, algorytmiczne i programowe podstawy prognozowania, zarówno w skali globalnej, jak również regionalnej. Metodologiczne komponenty takiego prognozowania przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Grupa teorii wykorzystywanych w badaniach nad prognozowaniem zjawisk katastroficznych

Interdyscyplinarność procedur prognozowania to obecnie konieczność. Tylko wtedy, możliwe jest jednoczesne uwzględnienie zbioru naturalnych, antropogenicznych, medycznych i socjalnych procesów, uprawdopodobniających pojawienie się katastrof. Procesy te mogą przebiegać równoległe lub kaskadowo, może wiązać je synergia, mogą być one również niezależne. Zauważmy, że powiązanie człowieka z jego otoczeniem ma nieskończenie złożony charakter i w wielu przypadkach nie jest możliwy jawny tego opis. Z drugiej jednak strony, wzajemne relacje człowiek-środowisko, muszą być obowiązkowo uwzględnione w procesie prognozowania. Dodatkowo, interdyscyplinarność sprzyja odejściu od metod probabilistycznych i zastąpieniu ich metodami numerycznymi, zapewniającymi większą precyzję i wiarygodność prognozowania. Przyszłość prognozowania katastrof należy wiązać z metodami hybrydowymi, w których techniki probabilistyczne wspomagane będą za pomocą podejścia numerycznego, doskonalącego dokładność wyników w ujęciu ilościowym i czasowym.

3.2. Klasyfikacja metody analizy i prognozowania katastrof

Liczba różnorodnych metod wykorzystywanych obecnie do analizy i prognozowania występowania oraz przebiegu zjawisk katastroficznych, zbliża się do 200. Zazwyczaj, metody te dzielone są na trzy grupy: metody heurystyczne, ekstrapo-

lacyjne oraz modelowanie matematyczne. Za najbardziej przyszłościowe powszechnie uważa się metody modelowania matematycznego, które dzieli się na: eksperymentalne metody modelowania procesów naturalnych i technologicznych; numeryczne metody modelowania oraz metody jednoczesnego wykorzystania zweryfikowanych modeli i obliczeń inżynierskich. O ile wcześniej analizie poddawane były pojedyncze zjawiska o ograniczonym zasięgu, to obecnie badania obejmują również wielostronne zagrożenia, w których powiązanie pomiędzy ich składnikami nie występuje lub jest nieistotne. Dlatego, do badania grupy zagrożeń coraz częściej wykorzystuje się metody hybrydowe, łączące w sobie narzędzia każdej z klasycznych metod prognostycznych.

Prognozowanie może mieć charakter krótko- lub długoterminowy. Prognozowanie *krótkoterminowe* pozwala określić spektrum prawdopodobieństw pojawienia się na wskazanym obszarze, różnych sytuacji nadzwyczajnych o charakterze naturalnym lub technologicznym. Prognozowanie *długoterminowe* ma na celu kompleksową ocenę ryzyka wystąpienia zagrożeń z uwzględnieniem prawdopodobieństw ich pojawienia i towarzyszących temu strat, do czego wykorzystywane są metodologie analizy i zarządzania ryzykiem. Uzyskiwane w ten sposób wyniki, wykorzystuje się m. in. jako: dane wejściowe do opracowania i weryfikacji planów zapobiegania i likwidacji skutków katastrof, przygotowania map zagrożeń obszarów i obiektów, a także do ukierunkowania działań organów władzy w zakresie reagowania na zagrożenia.

3.3. Bazowe metody analizy i prognozowania katastrof

W chwili obecnej, przy badaniu katastrof, najszerze zastosowanie znalazły *metody statystyczne*, zakładające utworzenie zbioru danych statystycznych, jego systematyzację oraz późniejsze przetworzenie za pomocą stosownych metodyk. Choć metody te są stosowane bardzo szeroko, ich znaczenia nie należy przeceniać. Jednym z podstawowych błędów popełnianych w procesie ich wykorzystania jest ograniczenie się do matematycznej analizy zgromadzonych danych z pełnym pominięciem fizycznego mechanizmu zjawiska. Rola analizy statystycznej powinna ograniczać się do oceny poprawności wykrytej w procesie analizy istoty zjawiska bądź procesu. W prognozowaniu katastrof, szeroko wykorzystywana jest odmiana metod statystycznych, tzw. *analiza częstotliwościowa*. W klasycznym zastosowaniu, stworzona przez kryptologów metoda, porównuje częstości występowania znaków alfabetu w łamanym tekście tajnym z częstością ich pojawiania się w danym języku, dzięki czemu symbolom kryptogramu przypisywane są znaki tekstu jawnego.

Metody statystyczne są najszerzej wykorzystywane w meteorologii i hydrologii, gdzie stosuje się je do analizy niebezpiecznych zjawisk pogodowych. Opierają się na analizie gromadzonych od wielu stuleci danych o zjawiskach pogodowych. Mają one jednak kilka istotnych wad, z których najważniejszą jest konieczność znajomości funkcjonałów rozkładu prawdopodobieństwa zjawisk katastroficznych,

od którego dokładności zależy precyzja prognozowania. Niestety, w wielu przypadkach czasookres obserwacji zjawiska jest zbyt krótki, aby zdefiniowany na jego bazie rozkład był precyzyjny. Ponadto, statystyka, podobnie jak każda inna metoda matematyczna posiada sztywne zakresy, w których powinny znajdować się formalno-matematyczne rozkłady opisujące badane zjawiska. Niestety, sposoby określania prawdopodobieństw w tych obszarach są nieprecyzyjne lub w ogóle nieznanne.

Szerokie rozpowszechnienie metod statystyczno-częstotliwościowych doprowadziło do odkrycia wielu prawidłowości powtarzających się w przyrodzie i społeczeństwie, w takich obszarach jak: medycyna, socjologia, meteorologia, seismologia czy wulkanologia [33], [34]. Zajmująca się tym problemem *teoria cykli* opisuje zasady ich zmian oraz cechy szczególnie korelacji pomiędzy cyklami. W szczególności wyróżniono następujące prawidłowości:

1. Cykle falowe lub spiralne są wszechobecne we wszystkich powtarzających się zjawiskach, w których występują fazy wznoszenia i opadania bądź przyspieszania i spowalniania zachodzących zmian;
2. Cykle są wzajemnie powiązane, krzywa dynamiki dowolnego cyklu jest wypadkową wpływu innych cykli, nawet tych z niepowiązanych obszarów;
3. Wpływ cykli zewnętrznych może wzmacniać lub osłabiać przebieg danego cyklu, naruszając w ten sposób jego naturalny przebieg.

Chociaż w szeregu dyscyplin, ponad wszelką wątpliwość, udowodniono występowanie cykli, ich wykorzystanie do prognozowania katastrof napotyka na szereg istotnych przeszkód. Nie zawsze, cykle posiadają czytelne powiązanie z określonym czynnikiem bądź ich kombinacją, wywołujące pojawienie się katastrofy. W takim przypadku, jakiegokolwiek prognozowanie jest utrudnione, a nawet niemożliwe. Dla występowania katastrof, długości cykli nie są precyzyjne, a dla zjawisk długoterminowych, rozbieżności mogą sięgać miesięcy, a nawet lat. W ostatnich latach, z uwagi na wyjątkowo intensywną eksploatację środowiska naturalnego, zaobserwowano naruszenie cykliczności szeregu zjawisk o charakterze katastroficznym. Analiza powyższych prawidłowości, pokazuje, że zastosowanie analizy częstotliwościowej i teorii cykli do prognozowania jest problematyczne [26], [35].

Istnieje szereg zjawisk, których opis matematyczny jest utrudniony lub wręcz niemożliwy. Ich przykładem są wahania cen akcji na giełdzie, będące skutkiem zmiany sytuacji społeczno-politycznej, czy pojawianie się w litosferze, nieobecnych wcześniej związków chemicznych, poprzedzające trzęsienie ziemi. Do prognozowania takich zjawisk można zastosować *metodę analogii*, polegającą na wyszukiwaniu podobieństw procesów poprzedzających katastrofy i porównaniu ich zmian w różnych okresach czasu [36], [37]. W metodzie tej, analizuje się nie tylko zjawiska bezpośrednio powiązane z prawdopodobną katastrofą, ale również jej obce. Poszukuje ona podobieństw w mechanizmach pojawiania się katastrof, włączając w to powiązania o niejawnym charakterze. Jest ona szczególnie przydatna w sytuacjach, kiedy zachodzące zjawiska trudno jest opisać za pomocą za-

leżności analitycznych. Porównanie podobieństwa charakteru zmian różnych parametrów istotnie upraszcza badania analityczne, w wielu przypadkach umożliwiając matematyczny opis zjawiska. Interesujące efekty można uzyskać wykorzystując do wyszukiwania podobieństw metody częstotliwościowe. Podstawową wadą metody jest konieczność wyszukiwania i późniejszego przetwarzania analogii, co na chwilę obecną nie jest dostatecznie sformalizowane. Ponadto, określenie ewentualnych podobieństw wymaga przetworzenia ogromnej ilości danych, co zazwyczaj jest wyjątkowo czasochłonne.

Również inne techniki analizy porównawczej znalazły zastosowanie do prognozowania katastrof. Przykładem ich wykorzystania jest *metoda porównania szybkości zmian*. Analizie podlegają w niej czynniki, z pozoru nie związane z prognozowaną katastrofą, niejawnie wpływające na zachodzące zjawiska. Użycie metody pozwoliło wykryć szereg prawidłowości występowania katastrof, w szczególności powiązanie ich z innymi procesami zachodzącymi w środowisku. Przykładowo, w wyniku wieloletnich obserwacji meteorologicznych określono, że trzęsienia ziemi zachodzą głównie w okresie gwałtownych globalnych i lokalnych zmian stanu atmosfery. W szczególności stwierdzono, że poprzedzają je fronty atmosferyczne oraz gwałtowna zmiana ciśnienia. W ostatnim dziesięcioleciu, dzięki szerokiej dostępności funkcjonujących w czasie rzeczywistym, autonomicznych urządzeń monitoringu lokalnego, metody te rozwijają się nadzwyczaj szybko. Różnorodność mierzonych wielkości oraz ciągłość pomiarów, pozwalają uwzględnić przy prognozowaniu gradienty śledzonych parametrów. W czasie rzeczywistym są one porównywane z wartościami archiwalnymi, zarejestrowanymi bezpośrednio przed pojawieniem się katastrofy [38], [39], [40].

Metody analizy energetycznej oparte są na permanentnym śledzeniu zmian potencjałów energetycznych środowiska. Przykładowo, przy prognozowaniu trzęsień ziemi, śledzone jest sejsmiczne pole falowe. W tym przypadku, metoda opiera się na monitoringu geodynamicznym, pozwalającym ocenić wpływ wymuszeń dynamicznych na badany system [38], [39]. Analiza wszelkich anomalii, pozwala prognozować zachowanie systemu dla różnych wymuszeń zewnętrznych. Podobne metody można wykorzystywać do analizy wielu zjawisk naturalnych, w tym również w obszarze biologii.

Metoda poziomów krytycznych analizuje wartości wskaźników uprawdopodobniających pojawienie się katastrof. Jej najważniejszą zaletą jest łatwość realizacji, bowiem nie wymaga ona zastosowania skomplikowanego aparatu matematycznego, wspomaganego przez rozbudowane narzędzia informatyczne. Działanie metody sprowadza się do ciągłej analizy wartości wybranych parametrów, na których podstawie można przewidzieć wystąpienie katastrofy. Jej podstawową wadą są rozbieżności wartości parametrów krytycznych dla różnych badanych lokalizacji. Okazuje się, że w jednym miejscu może zostać osiągnięta wartość krytyczna śledzonego parametru, podczas gdy w pozostałych lokalizacjach podobne znaczenie będzie poniżej, prognozy warunkującego wystąpienie katastrofy. Niestety,

nie są znane proste metody określania wartości krytycznej parametru w innych lokalizacjach obszaru. Również przyczyny gwałtownego wzrostu parametru mogą być różne i niekoniecznie wiązać się ze zjawiskiem wywołującym katastrofę. Poprawy efektywności metody, należy upatrywać w określeniu, na podstawie długotrwałej obserwacji, korelacji pomiędzy wartością śledzonego parametru, a pojawianiem się zjawisk o charakterze katastroficznym [38], [39].

Metoda bezwymiarowych współczynników względnych ocenia wartości złożonych współczynników, określanych na bazie zbioru charakterystyk środowiskowych, uprawdopodobniających wystąpienie katastrofy. W najprostszym przypadku, metoda ta jest modyfikacją poprzedniej i wykorzystuje relacje pomiędzy aktualną wartością parametru, a jego maksymalnym, zarejestrowanym znaczeniem. Możliwe jest również użycie współczynnika bezwymiarowego, określanego za pomocą wyrażenia matematycznego, opartego na zbiorze wybranych parametrów środowiska lub śledzonego obiektu. Obecnie, metody te są wykorzystywane rzadko, w szczególności nie są one stosowane w badaniach analitycznych. Znacznie lepszym rozwiązaniem okazuje się śledzenie bezwymiarowych różniczkowalnych funkcji zmiany badanego czynnika. Podejście takie, zapewnia dodatkowo śledzenie charakteru i tempa zmian współczynników [38], [41].

Aktualnie, z uwagi na ogólnodostępność funkcjonującego w czasie rzeczywistym monitoringu środowiskowego, szerokie zastosowanie znajdują *instrumentalne metody prognozowania*. Swoje funkcjonowanie opierają one na szerokim zastosowaniu wielopoziomowego monitoringu fizycznych, chemicznych i biologicznych parametrów środowiska, których zmiany sugerowałyby możliwość pojawiania się zagrożenia. Współczesne technologie monitoringu obejmują: śledzenie stanu środowiska oraz krytycznych obiektów; gromadzenie, przetwarzanie i ocenę informacji o charakterystykach zagrożeń naturalnych i technologicznych; technologie ekspertowo-analityczne [8], [20]. Chociaż metody instrumentalne są szeroko wykorzystywane i powszechnie uważane za jedne z najskuteczniejszych, pozwalają one opracowywać wyłącznie prognozy dla obszarów objętych monitoringiem. Z uwagi na znaczące koszty realizacji, pokrycie monitoringiem wszystkich zagrożonych stref jest niemożliwe i systemy prognozowania tego typu mają ograniczony obszar działania.

Sposobem na poprawę trafności prognoz jest jednoczesne wykorzystanie kilku metod, opierających się na różnych danych wejściowych. Podejście to wykorzystuje *kompleksowa metoda szacowania*, która opiera się na następujących założeniach:

1. Każda z wykorzystywanych metod powinna rozróżniać i akceptować obiekt, dla którego tworzone będą prognozy;
2. Różne metody powinny dostarczać różnych informacji o badanym obiekcie;
3. Zwiększenie w zestawie liczby metod wykorzystujących różną podstawę fizyczną, zapewnia poszerzenie informacji o jakościowych charakterystykach obiektu;

4. Zwiększanie w zestawie liczby metod o tej samej podstawie fizycznej poprawia rozdzielczość metody złożonej, w odniesieniu do badanych obiektów.

Zaletą metod tej grupy jest heterogeniczność prognozowania zagrożeń: są one oceniane na podstawie wielu różnorodnych czynników, co bezsprzecznie poprawia trafność prognoz. Wspomniana heterogeniczność postrzegana jest również jako istotna wada. Zarzuca się im brak systematyzacji procesu analizy zagrożeń, szczególnie w przypadku, kiedy badany jest wpływ wielu czynników posiadających różną naturę fizyczną, ale działających na obiekt jednocześnie. Nie zawsze pozwalają one zrozumieć i uwzględnić mechanizmy rozwoju zagrożenia. Z tego i kilku innych powodów uważa się, że metody te znajdują się w początkowej fazie rozwoju. Ich doskonalenie wymaga dogłębnego zrozumienia relacji pomiędzy różnymi typami zagrożeń, co jest zadaniem wyjątkowo skomplikowanym, wymagającym całościowych badań ekosystemu.

Szczególnym przypadkiem prognozowania zagrożeń w zawężonej czasoprzestrzeni jest *analiza ryzyka* [20], [35]. Do poprawy wiarygodności prognoz, wykorzystuje ona praktycznie wszystkie znane metody monitoringu środowiskowego oraz analityczne techniki prognozowania. Ich dokładność, w pierwszej kolejności, zależy od kompletności uwzględnienia czynników wpływających na zaistnienie i przebieg katastrofy. W odróżnieniu od tradycyjnych metod szacowania ryzyka, w tym przypadku, uwzględnia się wszystkie wzajemne powiązania pomiędzy środowiskiem naturalnym, technologicznym i socjalnym. Metodyka analizy ryzyka, może być realizowana na bazie poniższych trzech podejść:

1. Podejścia *probabilistyczno-statystycznego*, wykorzystywanego w prognozowaniu długoterminowym na podstawie wieloletniej analizy częstotliwości występowania katastrof;
2. Podejścia *probabilistyczno-deterministycznego*, przygotowującego prognozy średnioterminowe oparte na wieloletnich obserwacjach środowiska, ustalonych wcześniej przestrzenno-czasowych prawidłowościach przebiegu zjawisk oraz ich cykliczności;
3. Podejścia *deterministyczno-probabilistycznego*, stosowanego do określania prognoz krótkoterminowych, w oparciu o pojawiające się zwiastuny.

Metody tej grupy posiadają wszystkie wady metod opartych na statystyce i cykliczności zjawisk. Podstawowym problemem jest tutaj dobór właściwych rozkładów wielkości losowych, których zmiana tworzy podlegające ocenie ryzyko. Innym problemem jest wysoki poziom nieokreśloności badanych zjawisk, wynikający, przede wszystkim, z niekompletności posiadanych informacji. Obecnie, obserwujemy stopniową zmianę paradygmatu badań i przejście ich na jakościowo nowy poziom, bazujący na technologiach informacyjnych, telemetrii i modelowaniu matematycznym. Powyższe nauki stosowane stanowią podstawę interdyscyplinarnego systemu wiedzy o dynamice nieliniowych systemów złożonych [39], [40].

Ostatnią analizowaną metodą prognozowania jest zastosowanie *matematycznej teorii katastrof*, będącej działem matematyki opartym na modelowaniu matematycznym nieodwracalnych procesów, przebiegających w nieodwracalnym czasie fizycznym. Najważniejszymi jej elementami są: teoria bifurkacji równań różniczkowych oraz teoria osobliwości odwzorowań gładkich. Czasami MTK jest nazywana teorią morfogenezy lub teorią przejść nieciągłych. Wykorzystanie teorii katastrof do prognozowania jest mało praktyczne, do tego celu znacznie lepiej nadają się opisane wcześniej specjalizowane metodyki, bazujące na różnych dziedzinach nauki, w tym również i na samej teorii katastrof. Szczególne znaczenie, MTK odgrywa w obszarze terminologicznym i klasyfikacyjnym. Jej zastosowanie pozwala ujednoczyć aparat pojęciowy oraz formalnie sklasyfikować znane zagrożenia [26], [27], [28].

4. Podsumowanie i dalsze prace

Jednym z najważniejszych zadań stojących przed współczesnymi badaniami nad katastrofami jest maksymalizacja skuteczności prognozowania, która, szczególnie dla prognoz średnio- i długoterminowych, jest obecnie niesatysfakcjonująca. Nie da się jej osiągnąć bez radykalnej zmiany metodyki monitorowania obiektów i środowiska. W szczególności, konieczne jest szerokie zastosowanie sieci sensorowych i nowych typów czujników pomiarowych, pozwalających wykonywać w czasie rzeczywistym pomiar większości istotnych parametrów środowiska. Zastosowania sieci sensorowych do monitorowania zagrożeń nie ograniczają się wyłącznie do danej grupy zjawisk. Przydatność tych rozwiązań do obserwacji, przewidywania przebiegu oraz ostrzegania ludności o niebezpieczeństwie dotyczy wszelkich zjawisk, których występowanie może być mierzone, a wyniki pomiarów przesyłane na odległość. Unifikacji, podobnej do tej wykorzystywanej już w sieciach transmisyjnych, bazujących na standardzie IEEE 802.15, wymagają także metody i środki przetwarzania danych pomiarowych oraz formy prezentacji wyników.

Przeprowadzone badania pokazały, że w procedurach prognozowania, nie w pełni wykorzystywane są zwiastuny pojawiania się katastrof. Obecnie, ich zastosowanie, ma w dominującym stopniu charakter intuicyjny i niezbędne jest opracowanie formalnych podstaw ich klasyfikacji i wykorzystania w procesie prognozowania.

Prognozowanie i przeciwdziałanie katastrofom, dotyczy obecnie szerokiego spektrum działań, obejmujących rozwiązanie problemów z obszaru nauk ścisłych i stosowanych, szkoleń, zarządzania kryzysowego i problemów geopolitycznych włączających opracowanie i wdrożenie nowych przepisów prawa międzynarodowego. Tylko podejście interdyscyplinarne zapewni osiągnięcie satysfakcjonujących rezultatów. Temu właśnie poświęcone są dalsze badania autorów.

Bibliografia

- [1] M. Żuber, Red., Katastrofy naturalne i cywilizacyjne, Wrocław: Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Łądowych, 2006.
- [2] В. И. Арнольд, Теория катастроф, III red., Москва: Наука, 1990.
- [3] A. Woodcock and M. Davis, Catastrophe theory, Toronto: Clarke, Irwin & Company Limited, 1978.
- [4] L. Davis, Natural Disasters, II ed., New York: Facts On File, 2009.
- [5] I. V. Nemchinov, Catastrophic Events Caused by Cosmic Objects, V. V. Adushkin, Red., Dordrecht: Springer, 2008.
- [6] A. M. Gunn, Encyclopedia of Disasters: Environmental catastrophes and human tragedies, Westport: GREENWOOD PRESS, 2008.
- [7] D. Morris and E. McGann, Catastrophe, Pymble: HarperCollins Publishers, 2009.
- [8] J. F. Lancaster, Engineering Catastrophes Causes and Effects of Major Accidents, III ed., Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [9] Всемирный банк и Организация Объединенных Наций, Стихийные бедствия и техногенные катастрофы. Превентивные меры, Washington: The United Nations, The World Bank, 2012.
- [10] Е. М. Бабосов, Катастрофы социологический анализ, Минск: Наука и Техника, 1995.
- [11] Z. W. Kundzewicz i P. Matczak, Zagrozenia naturalnymi zdarzeniami ekstremalnymi", *Nauka*, pp. 77-86, 2010.
- [12] J. Ingleton, Red., Natural Disaster Management, Leicester: Tudor Rose, 1999.
- [13] Л. И. Маневич, „О теории катастроф,” *Соровский Образовательный Журнал*, pp. 85-90, 2000.
- [14] P. W. Michor, Elementary catastrophe theory, Timisoara: Universitatea Din Timisoara, 1985.
- [15] Т. Постон и И. Стюарт, Теория катастроф и ее приложения, Москва: Мир, 1980.
- [16] A. Woodcock and T. Poston, A Geometrical Study of the Elementary Catastrophes, Berlin: Springer-Verlag, 1973.
- [17] A. Jarominiak i A. Rosset, Katastrofy i awarie mostów, Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1986.
- [18] M. Cheffena, „Industrial wireless sensor networks channel modeling and performance evaluation”, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, nr 1, pp. 1-8, 2012.
- [19] L. N. Medford-Davis i B. G. Kapur, „Preparing for effective communications during disasters lessons from a World Health Organization quality improvement project”, *International Journal of Emergency Medicine*, nr 7:15, pp. 1-7, 2014.
- [20] P. Grossi and H. Kunreuther, Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk, New York: Springer, 2005.
- [21] G. Woo, The mathematics of natural catastrophe, Danvers: Imperial College Press, 1999.
- [22] C. Photopoulos, Managing Catastrophic Loss of Sensitive Data. A Guide for IT and

Security Professionals, Burlington: Syngress, 2008.

- [23] D. Johnston, „The role of multidisciplinary research and collaboration for improving the resilience of communities to volcanic risk”, *Journal of Applied Volcanology*, nr 1, p. 1, 2012.
- [24] C. S. Wasson, *System Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices*, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.
- [25] R. B. Northrop, *Introduction to Complexity and Complex Systems*, New York: CRC Press, 2010.
- [26] C. Brown, *Chaos and Catastrophe Theories*, Thousand Oaks: Sage Publications, Inc., 1995.
- [27] V. I. Arnold, *Catastrophe Theory*, II ed., Berlin: Springer-Verlag, 1986.
- [28] Y. C. Lu, *Singularity Theory and an Introduction to Catastrophe Theory*, New York: Springer-Verlag, 1976.
- [29] В. И. Арнольд, Ньютон и Гук - первые шаги математического анализа и теории катастроф, от эвольвент до квазикристаллов, Москва: Наука, 1989.
- [30] Ю. К. Алексеев і А. П. Сухоруков, Введение в теорию катастроф, Москва: Издательство МГУ, 2000.
- [31] Р. Гилмор, *Прикладная теория катастроф*, т. I, Москва: Мир, 1984.
- [32] Р. Гилмор, *Прикладная теория катастроф*, том I, Москва: Мир, 1984.
- [33] R. D. Sagarin і T. Taylor, „Natural security how biological systems use information to adapt in an unpredictable world”, *Security Informatics*, nr 1:14, pp. 1-9, 2012.
- [34] A. e. al., „A statistical analysis of the global historical volcanic fatalities record”, *Journal of Applied Volcanology*, nr 2, pp. 1-24, 2013.
- [35] E. V. Leary, Red., *Earthquakes Risk, Monitoring and Research*, New York: Nova Science Publishers, Inc., 2009.
- [36] C. S. Desai і M. Zaman, *Advanced Geotechnical Engineering. Soil - Structure Interaction Using Computer and Material Models*, Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [37] M. Randolph і S. Gourvenec, *Offshore Geotechnical Engineering*, Abingdon: Spon Press, 2011.
- [38] N. Ghafoori, Ed., *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction*, Leiden: CRC Press, 2010.
- [39] M. Hori, *Introduction to Computational Earthquake Engineering*, London: Imperial College Press, 2006.
- [40] R. W. Day, *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*, II ed., New York: McGraw Hill, 2012.
- [41] J. L. Briaud, *Introduction to geotechnical engineering: unsaturated and saturated soils*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

ROZDZIAŁ 3

Metody i środki niskokosztowej modernizacji systemu zaopatrzenia gminy w wodę

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ, Roman KOROSTENSKYI

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie

Miroslaw.Hajder@gmail.com, JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl, Korostenskyi@gmail.com

Streszczenie

W rozdziale, przedstawiono podstawowe komponenty systemów zaopatrzenia w wodę oraz metody automatyzacji ich funkcjonowania. Zaprezentowano sposoby modernizacji sprzętu wykorzystywanego w procesach pozyskiwania i dystrybucji wody, oparte na zastosowaniu rozproszonych systemów pomiarowych. Zaproponowano rozwiązania techniczne, których cechą szczególną jest niski koszt realizacji.

1. Wprowadzenie

Przeznaczeniem instalacji analizowanych w rozdziale jest dostarczanie wody do odbiorców. Jej dostawę na potrzeby gospodarstw domowych, rolnictwa, przemysłu itp. organizują specjalistyczne podmioty, będące najczęściej własnością samorządów lokalnych. Nowoczesny system dostawy wody (SDW), powinien być w pełni zautomatyzowany i niezawodny. Zastosowanie do tego celu narzędzi telemetrii i telematyki zapewnia bezobsługową pracę urządzeń, w tym zdalne monitorowanie głównych komponentów SDW z poziomu centralnego węzła systemu. W rezultacie, koszty eksploatacji są minimalizowane, przede wszystkim, dzięki zmniejszeniu liczby kosztochłonnych wizyt personelu w obiektach. Ponadto, ilościowe i jakościowe parametry dostaw są optymalizowane, a poziom świadczenia usług poprawia się. Z drugiej jednak strony, automatyczne systemy sterowania są skomplikowane, przez co czas identyfikacji oraz usunięcia uszkodzeń może znacząco wzrosnąć.

Budowa lub kompleksowa modernizacja SDW jest czasowo- i kosztochłonna. To rezultat konieczności jednoczesnego wdrożenia szeregu skomplikowanych, złożonych w instalacji komponentów, przy czym czas instalacji i koszty urządzeń automatyki są w całości nakładów stosunkowo niewielkie. W wielu przypadkach, ograniczenia finansowe podmiotów, będących właścicielami instalacji, uniemożliwiają przeprowadzenie powyższych prac. Dlatego, autorzy podjęli działania, których celem było opracowanie rozwiązań technicznych zapewniających niskokosz-

ową, rozłożoną w czasie wieloetapową modernizację istniejących systemów, bazującą na wykorzystaniu urządzeń automatyki do sterowania komponentami SDW.

2. Komponenty systemów zaopatrzenia w wodę

Proces przygotowania i dystrybucji wody można podzielić na pięć etapów, wyszczególnionych na rys. 1. W szczególności, są to kroki: pozyskiwania, pompowania, magazynowania, uzdatniania i dostawy wody. Oprócz poszczególnych etapów, na rysunku wyszczególniono podstawowe urządzenia techniczne, niezbędne do ich realizacji. Każde z urządzeń wyszczególnionych na rys. 1, może zostać wyposażone w automatyczny nadzór jego pracy.



Rys. 1. Etapy pozyskiwania, uzdatniania i dostarczenia wody [1]

Wszystkie źródła pozyskiwania wody, można podzielić na: źródła podziemne oraz powierzchniowe. Do źródeł *podziemnych* zaliczamy: baseny oraz warstwy wodonośne, w tym wody artezyjskie. Wody podziemne, nie zawierają zanieczyszczeń, zazwyczaj są przejrzyste i bezbarwne. Od powierzchni ziemi oddzielone są wodoszczelną warstwą o wysokim współczynniku filtracji, oddzielającą je od zanieczyszczeń. Wody podziemne są zazwyczaj wysokozmineralizowane, w zależności od rodzaju rozpuszczonych w nich substancji, mogą mieć one korzystne lub szkodliwe właściwości (różną twardość, brak lub wyrazisty smak, zawartość substancji przyjaznych lub szkodliwych dla organizmu człowieka) [1], [2].

Do źródeł *powierzchniowych* zaliczamy: morza lub ich fragmenty (zatoki, zalewy, cieśniny), rzeki, potoki, naturalne zbiorniki wodne (jeziora, stawy), sztuczne zbiorniki wodne, tereny podmokłe, naturalne ujścia wód podziemnych (gejzery, źródła), lodowce. Wodę rzeczną charakteryzuje wysoka mętność (zwłaszcza w trakcie powodzi lub bezpośrednio po niej), a także znacząca zawartość substancji organicznych, w tym bakterii. Jednocześnie, woda rzeczna jest miękka, tj. zawiera stosunkowo niewielką ilość soli mineralnych. Wodę z jezior wyróżnia wysoka przezro-

czystość, zmniejszająca się wraz z przybliżaniem do brzegu. Stopień jej mineralizacji (tj. twardość) jest bardzo różny.

Wszystkie źródła powierzchniowe charakteryzują się znacznymi wahaniami parametrów jakościowych, szczególnie poziomu zanieczyszczeń w poszczególnych porach roku. Jakość wody, zależy od intensywności opadów atmosferycznych, szybkości topnienia pokrywy śniegowej, a także od jej zanieczyszczenia ściekami pochodzącymi z miast i zakładów przemysłowych. Na sezonowe wahania, szczególnie narażone są wody rzeczne: w okresie powodzi znacząco wzrasta mętność oraz poziom zanieczyszczeń organicznych, jednocześnie maleje ich twardość [3].

3. Automatyzacja systemów dostawy wody

Automatyzację opartą na specjalistycznych programach i urządzeniach sterujących procesami technologicznymi, wykorzystuje się na wszystkich etapach funkcjonowania SDW. W odróżnieniu do innych systemów technicznych, złożoność narzędzi automatyki jest tutaj stosunkowo niewielka. Wyróżniają ją rygorystyczne wymagania niezawodnościowe, bowiem nieakceptowalna jest sytuacja, kiedy odbiorcy są pozbawieni dostaw wody bieżącej.

Urządzenia automatyki wykorzystywane są w SDW do utrzymania na określonym poziomie parametrów ilościowych (ciśnienie, przepływ, poziom w zbiornikach, temperatura itd.) oraz jakościowych (poziom zasadowości i kwasowości pH, twardość, kolor i in.) wody oraz procesu jej przesyłania [4]. W szczególności, realizują one następujące działania:

1. Sterują agregatami pompowymi, zapewniając osiągnięcie wymaganych parametrów technologicznych (poziomów wody w zbiornikach magazynujących, jej ciśnienia i przepływu w rurociągach itp.);
2. Generują określoną sekwencję operacji niezbędnych do rozruchu lub zatrzymania agregatów pompowych, płukania filtrów oraz innych urządzeń i mechanizmów SDW;
3. W przypadku pojawienia się awarii lub usterki, wyłączają uszkodzone i uruchamiają urządzenia rezerwowe;
4. Regulują liczbę funkcjonujących pomp, dostosowując ich obroty do poboru wody bądź jej poziomu w zbiornikach magazynujących;
5. Stabilizują ciśnienie w rurociągach oraz poziomy wody w zbiornikach magazynujących;
6. Włączają lub wyłączają urządzenia pomocnicze, w tym: pompy ciepłej wody, pompy głębinowe, systemy ogrzewania, wentylacji, oświetlenia itp.;
7. Sterują dozowaniem reagentów.

Podstawową koncepcją architektoniczną SDW jest centralizacja, zakładająca monitorowanie i sterowanie procesem technologicznym z poziomu jednego centralnego węzła. Najważniejszymi komponentami SDW są rozrzucone terytorialnie uję-

cia i stacje uzdatniania wody oraz urządzenia wykorzystywane do jej dystrybucji. Odległości pomiędzy nimi mogą sięgać nawet kilkunastu kilometrów. W przypadku niewielkich, pozbawionych automatyki obiektów, centralizacja zapewniana jest manualnie przez dyżurny personel, w oparciu o obserwację urządzeń pomiarowych bądź polecenia przekazywane telefonicznie. Powyższe rozwiązanie jest nieefektywne i powinno być eliminowane. Do centralizacji większych instalacji, wykorzystuje się telemechanikę, której środki ze względu na charakter wykonywanych funkcji dzielą się na: telesygnalizację, telepomiar oraz telesterowanie.

Zadaniem *telesygnalizacji* jest przekazywanie do centralnego węzła informacji o funkcjonowaniu urządzeń SDW. Przesyłane są dane o stanie pomp (funkcjonują czy znajdują się w stanie spoczynku), zaworów (zamknięte czy otwarte), filtrów (filtr w trybie pracy, płukania lub gotowości). Telesygnalizacja nie przekazuje informacji o parametrach procesu technologicznego (ciśnienie i temperatura wody, jej przepływ i in.). Informacje te gromadzą i przesyłają systemy *telepomiarowe*. Za ich pomocą, do węzła centralnego mogą być również przekazywane dane o wartości natężenia i napięcia prądu zużywanego przez agregaty pompowe, poziomie wody w zbiornikach magazynujących, jej mętności i kolorze, parametrach fizykochemicznych dystrybuowanej wody itp. Systemy *telesterowania* zapewniają sprzężenie zwrotne pomiędzy centralnym węzłem, a komponentami systemu. W szczególności, generują i rozsyłają sygnały sterujące, nakazujące zatrzymanie lub uruchomienie agregatów pompowych, otwarcie lub zamknięcie zaworów, rozpoczęcie procedury czyszczenia filtrów, zmianę dozowania reagentów itp.

Zbieranie informacji z lokalnych węzłów, celem przekazania ich do węzła centralnego opiera się na kanałach telekomunikacyjnych. W osprzęt transmisyjny wyposażane są wszystkie węzły nowoczesnego SDW. Jako środowisko transmisji, wykorzystywane mogą być: elektryczne lub optyczne kable transmisyjne, kanały telefoniczne, a także media bezprzewodowe, w tym: telefonia GSM, sieci WI-FI, dedykowane kanały radiowe. Z uwagi na wysoki koszt budowy i późniejszej eksploatacji, fizyczne kable transmisyjne wykorzystywane są stosunkowo rzadko. W praktyce, znajdują one zastosowanie do połączeń w ramach konkretnego obiektu, a także dla SDW z niewielką ilością tworzących je fragmentów, zlokalizowanych w pobliżu centralnego węzła. Dla systemów rozmieszczonych na znacznym obszarze, zastosowanie znajdują systemy transmisyjne, oparte na kanałach telefonii publicznej, zarówno przewodowej, jak i bezprzewodowej. W tym przypadku, systemy automatyki zostają wyposażone w profesjonalne urządzenia teletransmisyjne, najczęściej dostarczane przez operatorów telekomunikacyjnych.

Obowiązującą tendencją budowy i modernizacji SDW jest szerokie wykorzystanie programowalnych systemów informatycznych. Ich zastosowanie pozwala minimalizować gabaryty sprzętu sterującego, zarówno w węzłach lokalnych, jak i w węźle centralnym, znacznemu ograniczeniu podlega także rola operatora, w wielu przypadkach SDW są bezobsługowe. Zastosowanie technik informatycznych zapewnia dodatkowo wysoką elastyczność zmiany trybów pracy węzłów, a także bezpro-

blemowe włączanie do użytku nowych komponentów, co wymaga wyłącznie przeprogramowania urządzeń sterujących. Dzięki zastosowaniu narzędzi informatyki, rośnie także niezawodność i efektywności funkcjonowania SDW, możliwa jest przejrzysta wizualizacja powiązań obiektów oraz parametrów procesów technologicznych [5].

Różnorodność technologii wykorzystywanych w SDW, narzuca wielowarstwowość architektury systemów automatyzacji. Zazwyczaj, zastosowanie znajduje trójpoziomowa hierarchia komponentów, składająca się z poniższych poziomów:

1. *Poziom 1* – systemy o lokalnym znaczeniu. Automatyzacja opiera się na zastosowaniu rozwiązań autonomicznych względem innych komponentów systemu, bez względu na poziom hierarchii, na którym są one zlokalizowane. Zdarza się, że urządzenia pierwszego poziomu generują sygnały, wykorzystywane w wyższych warstwach;
2. *Poziom 2* – systemy wpływające na cały proces dystrybucji, funkcjonujące jako autonomiczne systemy lokalne. Ich elementy są integralną częścią urządzeń automatyki SDW. Komponenty drugiej warstwy, obligatoryjnie przekazują informacje o stanie procesu technologicznego do elementów trzeciego, najwyższego poziomu;
3. *Poziom 3* – systemy automatyzacji bezpośrednio zapewniające optymalną pracę SDW. Poziom ma charakter globalny, a swoje działanie opiera na wykorzystaniu generowanych lokalnie, również na innych poziomach, sygnałów informacyjnych. Na ich podstawie, tworzone są polecenia sterujące elementami wykonawczymi systemu, gwarantujące optymalność funkcjonowania całego SDW [4].

Polecenia generowane w warstwie trzeciej, mogą m. in. sterować włączaniem lub wyłączaniem urządzeń SDW (pomp, zaworów, zasuw itp.), a także uruchamianiem czynności serwisowych (płukanie filtrów, dezynfekcja komponentów instalacji i in.). W rozbudowanych SDW, złożonych ze zbioru niepowiązanych instalacji, zazwyczaj buduje się autonomiczne systemy sterowania, obsługiwane przez wspólnego lub niezależnych operatorów.

4. Automatyzacja stacji pomp

Automatyzując główne agregaty pompowe, szczególną uwagę zwraca się na procedury ich startu i zatrzymywania. Polecenie włączenia agregatów może pochodzić od operatora systemu bądź automatycznego włącznika, reagującego na wartość określonego parametru technologicznego (poziomu w zbiornikach magazynujących, ciśnienia wody w wodociągach itp.). Pozostałe operacje, związane z uruchomieniem SDW są konsekwencją rozruchu pomp i wykonywane są automatycznie. Do takich operacji należą: otwieranie i zamykanie bram i zasuw, doprowadzenie wody do pomp, dopływ wody chłodzącej do łożysk, sterowanie łącznikami elek-

trycznymi. Uproszczenie sterowania oraz zwiększenia niezawodności rozruchu uzyskuje się poprzez instalację pomp poniżej poziomu wody w zbiornikach.

W podobny sposób, wykonywane jest zatrzymanie agregatów pompowych. Polecenie zatrzymania może pochodzić od operatora systemu lub czujnika monitorującego wskazany parametr procesu technologicznego. Oprócz planowego zatrzymania agregatu, możliwe jest również zatrzymanie awaryjne, aktywowane w przypadku zagrożeń bezpieczeństwa osób lub sprzętu, uruchamiające odpowiedni system ochronny. W SDW wykorzystuje się najczęściej dwa rodzaje systemów ochronnych: ochronę obwodów zasilania oraz ochronę technologiczną. *Ochrona obwodów* elektrycznych aktywuje się przy zwarcjach obwodów silnika, jego przeciążeniach, zaniku napięcia oraz po pojawieniu innych uszkodzeń obwodów elektrycznych pompy. *Ochrona technologiczna* związana jest bezpośrednio z procesem produkcji i chroni urządzenia przed stanami grożącymi ich uszkodzeniem. Mogą to być nadmierne spadki poziomu wody w zbiornikach magazynujących, gwałtowne zmiany ciśnienia i przepływu w wodociągu i in. Wszystkie systemy ochronne bazują na specjalistycznych czujnikach, nieprzerwanie śledzących funkcjonowanie konkretnych komponentów SDW.

Instalacja pomp poniżej poziomu lustra wody w zbiorniku magazynującym ma na celu grawitacyjne zatapianie wirników pomp. W przeciwnym przypadku, niezbędne jest zastosowanie do tego wytwarzających podciśnienie pomp próżniowych. W takim przypadku, układy automatyki sterują zarówno pompą główną, jak i próżniową. W pierwszej kolejności, uruchamiana jest pompa próżniowa. Po wytworzeniu podciśnienia otwierany jest obwód zasysania wody, komora wirnika pompy głównej jest wypełniana, a ona sama uruchamiana. Następnie, obwód zasysania wody jest zamykany, a pompa próżniowa zatrzymywana [4].

Sterowanie pompami konieczne jest również w trakcie planowej eksploatacji SDW. Wynika to ze zmiennej konsumpcji wody i konieczności stabilizacji parametrów jej dostawy. Do tego celu, wykorzystuje się zmienne tryby pracy agregatów pompowych, w szczególności zmieniana jest liczba pracujących agregatów, ich prędkość obrotowa. W SDW, często wykorzystuje się wielobiegunowe silniki asynchroniczne, zapewniające skokową zmianę prędkości obrotowej. Silniki te zwiększają liczbę możliwych charakterystyk pompowania, bez potrzeby zastosowania dodatkowych pomp. Nowocześniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie silników z płynną regulacją prędkości, lepiej dostosowujących się do aktualnych potrzeb, określanych przez bieżącą konsumpcję. Dzięki temu ciśnienie w sieci wodociągowej i poziom wody w zbiornikach magazynujących stabilizują się. W efekcie zmniejszają się: zużycie energii niezbędnej do napędzania pomp oraz nieproduktywne zużycie wody.

Dylematem stojącym przed projektantem jest określenie liczby oraz mocy pomp. Zastosowanie większej ilości pomp o mniejszej mocy pozwala wykorzystać tańsze układy sterujące oraz zadbać o równomierne zużycie poszczególnych urządzeń. Z kolei urządzenia o większej mocy są standardowo wyposażane w płynną regula-

cję prędkości obrotowej, charakteryzują się wysoką dynamiką i niestety, nierównomiernym zużyciem pomp zestawu. Zazwyczaj efektywne jest zastosowanie 3-4 pomp o mocy określonej wielkością konsumpcji [5]. Moce agregatów powinny być różne, a w płynne sterowanie należy, w pierwszej kolejności, wyposażyć urządzenie o największej mocy. Takie rozwiązanie zapobiega tworzeniu się martwych stref sterowania. Jeżeli w SDW wykorzystywane są wyłącznie pompy dużej mocy, wyposażenie każdej z nich w sterowanie może być zbyt kosztowne. Ma ono sens tylko wtedy, gdy zmiana prędkości negatywnie wpływa na agregaty nieregulowane, wprowadzając je w anormalne tryby pracy, charakteryzujące się niską sprawnością lub kawitacją.

Rozwiązaniem charakteryzującym się umiarkowaną ceną jest jednoczesne wykorzystanie regulowanych i nieregulowanych agregatów pompowych. W SDW, systemy automatyki mogą zapewniać zmianę prędkości obrotowej jednostek sterowanych, uruchamianie bądź zatrzymywanie pomp nieregulowanych z jednoczesnym ograniczeniem niezbędnego zakresu zmian wydajności jednostek sterowanych. Algorytm regulacji jest zazwyczaj skonstruowany tak, aby zapewnić optymalną sprawność i równomierne zużycie wszystkich pomp.

Oprócz zbiornika magazynującego, SDW wyposażane są zbiorniki wyrównawcze (kompensacyjne) oraz ciśnieniowe (wieże ciśnień). Zadaniem zbiorników kompensacyjnych jest stabilizacja, w czasie rzeczywistym, ciśnienia w końcowych odcinkach wodociągu, zbiorniki ciśnieniowe służą do zapewnienia stabilnego ciśnienia w momentach wzrostu zapotrzebowania na wodę. W odróżnieniu od zbiorników wyrównawczych, ciśnieniowe są zazwyczaj wspólne dla całej sieci. W SDW, nieposiadających wieży ciśnień, parametrem sterowania jest ciśnienie w krytycznym punkcie (punktach) sieci. Jeżeli stacje pomp położone są w pobliżu odbiorców lub kiedy spadek ciśnienia w rurociągu pomiędzy punktem krytycznym a pompami tylko nieznacznie zależy od zużycia wody, jako parametr sterowania wykorzystuje się ciśnienie w zbiorniku kompensacyjnym. W SDW wyposażonych w wieże ciśnień, parametrem sterowania może być poziom wody w wieży.

Zasięg działania wykorzystywanych w SDW systemów automatyki może być lokalny lub globalny. W pierwszym przypadku jest on ograniczony do urządzeń sterujących wybranym procesem technologicznym, w drugim zarządza się całym systemem przygotowania i dystrybucji wody. W większości SDW wykorzystuje się, oparte na zastosowaniu mikroprocesorów, sterowniki proporcjonalno-całkujące PI. Określone przez elementy pomiarowe wartości parametrów przekształca się do niskonapięciowych cyfrowych lub analogowych sygnałów elektrycznych. Następnie, za pomocą linii transmisyjnych przesyła się je do sterownika, wyposażonego w możliwość ustawienia ich wzorcowych wartości. Sterownik, na bazie algorytmu określa wartości sygnałów, przesyłanych do urządzeń wykonawczych. Sterowniki są w istocie komputerami o ograniczonym zakresie funkcjonalnym. Pozwalają one elastycznie zmieniać algorytm sterowania, w sytuacji, kiedy zmieniły się charakterystyki obiektu. Wykorzystywane do tego celu komputery przemysłowe,

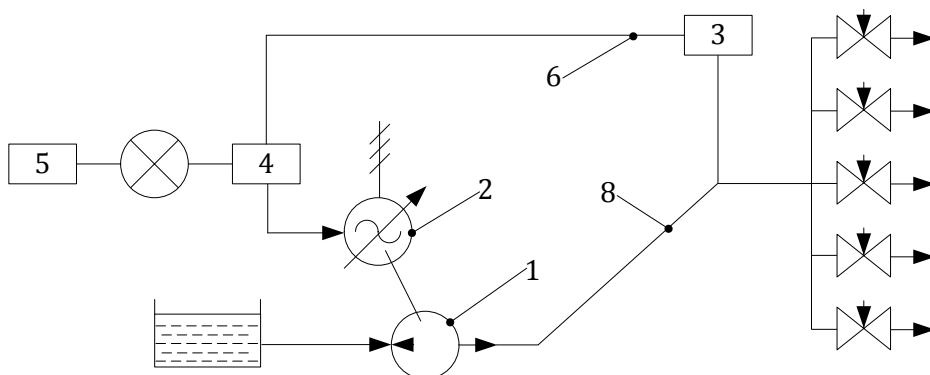
charakteryzuje, szeroki zakres temperatur pracy, odporność na działanie czynników szkodliwych, wysoka stabilność funkcjonowania i niezawodność.

5. Stabilizacja ciśnienia w SDW

Konieczność stabilizacji ciśnienia w SDW, wynika ze zmienności zapotrzebowania na wodę i jest realizowana za pomocą zmian trybu pracy agregatów pompowych. Zmiany te muszą być wykonywane tak, aby wymagane wartości parametrów technologicznych (przepływ, ciśnienie) utrzymywać na niezmiennym poziomie w całym systemie, zapewniając jednocześnie minimalne możliwe zużycie pomp oraz energii. W rozbudowanych, wielopoziomowych systemach bez wież ciśnieniowych, stabilizację zapewniają pompy II i III poziomu. Stabilizacji podlega ciśnienie w wybranych punktach SDW, jej realizacja we wszystkich punktach sieci jest praktycznie niemożliwa.

Jako krytyczne, wybierane są te spośród węzłów, w których prawidłowe wartości, gwarantują utrzymanie tego samego lub większego ciśnienia w pozostałych punktach SDW. Zazwyczaj, jako krytyczny traktowany jest węzeł, najbardziej oddległy hydraulicznie od stacji pomp, na przykład, zlokalizowany w punktach sieci, położonych najwyżej względem poziomu morza [6]. Węzły krytyczne wyznacza się na podstawie obliczeń lub empirycznie, na bazie wyników długoterminowych obserwacji eksploatacyjnych. Jeżeli pobór wody jest zmienny, węzeł krytyczny może się przemieszczać.

Schemat blokowy automatycznego sterowania stacją ujęcia wody ze sterowaną pompą, przedstawiono na rys. 2. System składa się z: pompy 1, wyposażonej w sterowany silnik 2; czujnika ciśnienia 3; pokrętła regulatora PI 4; urządzenia określającego wartości regulowanego parametru 5 oraz kanałów komunikacyjnych 6, łączących czujnik ze sterownikiem.



Rys. 2. Schemat klasycznego układu stabilizacji ciśnienia w krytycznym punkcie SDW [4]

Sygnały pochodzące z czujnika ciśnienia zlokalizowanego w krytycznym punkcie sieci oraz urządzenia definiującego jego wzorcową wartość są przekazywane

do regulatora PI, w którym są porównywane. Wypracowana na ich podstawie sekwencja rozkazów zostaje przekazana do bloku wykonawczego systemu sterowania. Jeżeli ciśnienie w punkcie krytycznym jest większe od wymaganego, zmniejsza się prędkość obrotowa pompy i odwrotnie. W przypadku osiągnięcia żądanej wartości ciśnienia, procedura regulacji prędkości kończy się. System sterowania należy skonfigurować tak, aby zmiany prędkości pomp były wykonywane nawet przy niewielkiej różnicy ciśnień. Dzięki temu, możliwa jest praktycznie płynna regulacja parametrów w całym rurociągu.

Złożoność procesu stabilizacji ciśnienia zależy od ilości agregatów – im większa jest liczba pomp, tym procedura jest bardziej skomplikowana. Jeśli wszystkie pompy posiadają identyczne parametry i są wyposażone w regulowany napęd, sterowanie przebiega analogicznie do opisanego powyżej, z tą różnicą że polecenia zmiany prędkości obrotowej generowane są jednocześnie dla wszystkich pracujących pomp. Prędkości obrotowe agregatów zmieniają się synchronicznie, dzięki czemu można uzyskać równomierny podział obciążeń pomiędzy urządzeniami. Jeżeli SDW wykorzystuje pompy o różnych parametrach, przepływ przez każdą z nich dobiera się tak, aby poziom ich obciążenia był zbliżony [4], [6].

Jeżeli w systemie pracują jednocześnie sterowane i niesterowane agregaty pompowe, regulacja sprowadza się do zmiany prędkości obrotowej jednostek sterowanych i określenia liczby aktywnych jednostek niesterowanych. W rzeczywistych rozwiązaniach, permanentnie włączone jest jedno urządzenie sterowane. Jego pracę wspomagają włączane w razie potrzeby urządzenia niesterowane, których liczba jest zależna od aktualnych parametrów konsumpcji w SDW. Algorytm funkcjonowania architektury heterogenicznej jest zbliżony do analizowanego wcześniej dla systemu z homogenicznym zestawem pomp: po zmniejszeniu poboru wody i wzroście ciśnienia w punkcie krytycznym, prędkość obrotowa pomp sterowanych jest zmniejszana, a w przypadku spadku ciśnienia – wzrasta.

W heterogenicznych SDW przepływy pomp sterowanych i niesterowanych różnią się. Wynika to z odmienności funkcjonowania obu urządzeń: charakterystyka pompy sterowanej zmienia się, a niesterowanej jest stała. W rezultacie, po zmniejszeniu obrotów pompa ze sterowaną charakterystyką pracuje z mniejszym przepływem, a przepływ pompy niesterowanej wzrasta. Przepływ to nie jedyny parametr, różniący agregaty pompowe. Istotnie różnią się także chwilowa moc i sprawność urządzeń. Jeżeli konsumpcja znacząco się zmniejsza, przepływ pompy nieregulowanej spada do zera i jej zawór zwrotny jest zamykany, w przeciwnym przypadku woda zacznie przepływać przez pompę w odwrotnym kierunku. Jeżeli system pozbawiony jest zaworu zwrotnego, układ automatyki uruchamia z maksymalnymi obrotami pompę sterowaną, zatrzymując jednocześnie pompy niesterowane. Dalsze zmniejszanie poboru wody skutkuje zmianą prędkości obrotowej pompy sterowanej.

Podobne operacje sterujące wykonywane są w przypadku wzrostu zapotrzebowania na wodę. Przy minimalnej konsumpcji funkcjonuje wyłącznie pompa

sterowana, której obroty będą zwiększane wraz ze wzrostem popytu. Jeżeli osiągnie ona maksymalną prędkość obrotową, a w rezultacie dalszego wzrostu konsumpcji ciśnienie w rurociągu będzie spadać system sterowania uruchomi pompę niesterowaną, zmniejszając jednocześnie obroty pompy sterowanej. Włączenie każdej kolejnej pompy niesterowalnej wykonywane jest po osiągnięciu przez pompę sterowaną maksymalnych obrotów i wiąże się z ich ograniczeniem do niezbędnej wartości.

Zmiany poziomu konsumpcji wody nie zawsze mają charakter monotoniczny. Często, po osiągnięciu pewnej wartości, zmiany zatrzymują się bądź zmieniają kierunek. W takich przypadkach, możliwe jest wielokrotnie włączanie i wyłączenie pomp niesterowanych. Aby uniknąć takich zjawisk, układ sterowania powinien zawierać element określający tendencję zmian, co zapewni włączanie i wyłączenie pomp nieregulowanych tylko w przypadku trwałej tendencji zmian konsumpcji wody. W SDW ze zużyciem wody permanentnie wahającym się w okolicach wartości przełączania, celowe zastosowanie kilku pomp ze sterowanymi charakterystykami, dzięki czemu rozszerza się obszar efektywnego sterowania. Wtedy, z ograniczoną prędkością obrotową mogą pracować dwie pompy.

Wykorzystywanie zestawu pomp złożonego z urządzeń sterowalnych i niesterowalnych może skutkować pojawieniem się martwych stref regulacji. Powstają one wtedy, kiedy możliwość sterowania posiadają pompy, których charakterystyka ciśnieniowa leży poniżej charakterystyki pompy niesterowanej. W takim przypadku, po osiągnięciu maksymalnych wartości przepływu, pompy niesterowanej nie można wyłączać, ponieważ urządzenie sterowane, pracując nawet z maksymalną prędkością, nie zapewni odpowiedniego ciśnienia. Ponieważ przepływ generowany przez pompę sterowaną jest mniejszy od przepływu pompy o stałych charakterystykach, pompa taka nie ma żadnego wpływu na proces sterowania SDW. Aby uniknąć pojawiania się martwych stref sterowaniem powinny dysponować najwydajniejsze pompy systemu dysponujące najbardziej stromą charakterystyką. W takim przypadku, układ sterowania, może z pewnym wyprzedzeniem wyłączyć pompę niesterowaną tak, aby ciśnienie wody nie spadło poniżej granicznej wartości. Podobnie, włączenie pompy niesterowanej może nastąpić zanim ciśnienie wody nie sięgnie granicznej wartości. Dzięki temu eliminuje się pracę pomp w obszarze niskiej sprawności i poprawia jakość regulacji [7].

Zadanie stabilizacji ciśnienia komplikuje się, jeżeli w SDW wykorzystuje się kilka zestawów pomp. W takim przypadku, algorytm sterowania powinien zapewnić optymalny podział przepływu pomiędzy wszystkimi zestawami. Kryteriami optymalizacji będą minimalizacja zużycia energii oraz zapewnienie równomiernego zużycia wszystkich agregatów systemu. Wymaga to utrzymania równowagi pomiędzy parametrami funkcjonowania wszystkich zestawów pompowych.

6. Stabilizacja poziomu w zbiornikach magazynujących

Obsługa zbiorników magazynujących ze zmiennym poziomem wody za pomocą systemu pomp z cyklicznym włączaniem agregatów wiąże się z wysokim zużyciem energii. Najlepszym rozwiązaniem jest automatyczne utrzymywanie poziomu w zadanych, niezbyt szerokich granicach. Z punktu widzenia oszczędności energii, w zbiornikach należy utrzymać maksymalny poziom, co pozwala ograniczać zużycie energii niezbędnej do utrzymania stałego ciśnienia w sieci wodociągowej. Jednak, aby ograniczyć wycieki wody ze zbiornika jej poziom powinien być niższy o 30-50 cm od poziomu rury przelewowej. Jednocześnie należy wyeliminować opróżnianie zbiornika do poziomu wywołującego kawitację pomp.

Wykorzystując tradycyjne technologie, ustalony poziom można skutecznie utrzymywać z dokładności 50 mm. Zastosowanie do tego celu nowoczesnych rozwiązań technicznych poprawia dokładność do nawet 10 mm. Jednak zbyt wysoka precyzja nie jest zalecana, bowiem powoduje ona nadmierne zużywanie wybranych elementów agregatów pompowych. Wymaga ona częstego włączania pomp w systemach bez sterowania prędkości lub ciągłymi zmianami obrotów pomp sterowanych. W obu przypadkach, przedwczesnemu zużyciu ulegają łożyska silników i pomp oraz sprzęgła je łączące. Ponadto, praca pomp ze sterowanymi charakterystykami w obszarze minimalnych wydajności, może być nieefektywna energetycznie. Z opisanych powyżej powodów warto jest wykorzystywać szersze strefy niewrażliwości sterowania, obniżając dokładność stabilizacji do kilkudziesięciu centymetrów [4].

Podobnie jak i w systemach stabilizacji ciśnienia, w stabilizując poziom w zbiorniku, wskazanym jest zastosowanie dodatkowych pomp nieregulowanych. Ich wykorzystanie jest celowe w sytuacjach znacznego zwiększenia dopływu lub poboru wody. Podobnie jak poprzednio, sterowany napęd powinny posiadać najwydajniejsze agregaty z najbardziej stromą charakterystyką. Jeżeli w SDW stosowane są pompy tego samego typu, aby zapobiec powstawaniu martwych stref, odpływy urządzeń niesterowanych powinny mieć mniejsze średnice. Zastosowanie w SDW agregatów z regulowaną charakterystyką minimalizuje liczbę ich włączeń i wyłączeń, zwiększając tym samym niezawodność zaopatrzenia w wodę [7].

Wszystkie pompy wykorzystywane w SDW, powinny być zabezpieczone przed suchobiegiem.

7. Podsumowanie

Dostawa wody do celów konsumpcyjnych i gospodarczych obok dostawy energii elektrycznej jest dzisiaj jedną z najbardziej newralgicznych usług świadczonych na rzecz mieszkańców i podmiotów gospodarczych. Z procesem dostawy wiążą się dwa podstawowe problemy. Pierwszy z nich, to ogólnoświatowy deficyt wody, która po przetworzeniu, mogłaby być wykorzystana do celów konsumpcyjnych.

cyjnych. Drugi problem, to systematyczny wzrost kosztów dostawy, przewyższający zmiany cen innych dóbr konsumpcyjnych.

Systematyczne obniżanie się poziomu wód powierzchniowych i podziemnych wymaga pilnego poszukiwania alternatywnych źródeł wody. Niezbędna jest również racjonalizacja jej zużycia, która powinna być osiągnięta zarówno metodami technicznymi, jak również poprzez uświadamianie odbiorców o konieczności jej oszczędzania.

Funkcjonujące obecnie SDW są nieprzygotowane do racjonalizacji zużycia wody i energii potrzebnej do jej przygotowania. W większości przypadków, powstawały one 30-40 lat temu i opierają się na przestarzałym sprzęcie i technologiach. Proces sterowania produkcją i dystrybucją bazuje się na nieprecyzyjnych, nierejestrowanych pomiarach. W wielu przypadkach diagnostyka i nawet najprostsze czynności serwisowe wykonywane są manualnie. Rozwiązaniem większości powyższych problemów jest zastosowanie rozproszonych systemów pomiarów i sterowania, opartych na szerokim wykorzystaniu narzędzi informatyki i telekomunikacji.

Bibliografia

- [1] K. Duzinkiewicz, Zintegrowane sterowanie systemami zaopatrzenia w wodę pitną, Kraków: Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2005.
- [2] F. R. Spellman, Handbook of water & wastewater treatment plant operations, Boca Raton: CRC Press LLC, 2003.
- [3] HDR Engineering, Handbook of Public Water Systems, Third red., New York: Wiley, 2010.
- [4] C. C. Patton, Applied Water Technology, Third red., Norman: Campbell Petroleum, 2007.
- [5] L. D. Mackenzie, Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice, New York: McGraw-Hill Companies, 2010.
- [6] Ю. Сербин, В. Прокопов і А. Бугров, *Параллельная работа насосных агрегатов при использовании технологии частотного регулирования.*, ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР "АРТ", 2007.
- [7] Б. Лезнов, Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках., Москва: Энергоатомиздат, 2006.

ROZDZIAŁ 4

Przyczyny i skutki wykluczenia cyfrowego w środowisku wiejskim Podkarpacia

Mirośław HAJDER, Beata FLOREK

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie

Miroslaw.Hajder@gmail.com, BeataFlorek@wp.pl

Streszczenie

Niniejszy rozdział jest analizą przyczyn i skutków, wyższego od średniej krajowej, poziomu wykluczenia cyfrowego na obszarze województwa podkarpackiego. Badania autorów diagnozują ponadprzeciętne zainteresowanie mieszkańców dostępem do Internetu oraz wskazują główny powód wykluczenia, którym jest brak niezbędnej wiedzy i umiejętności. Z przeprowadzonych badań wynika również umiarkowany wpływ wykluczenia cyfrowego na podstawowe charakterystyki życia społeczno-gospodarczego. Publikację kończą propozycje działań zmniejszających poziom wykluczenia na obszarze województwa. Rozdział jest adresowany do osób zajmujących się społeczeństwem informacyjnym i rozwojem regionalnym.

1. Społeczeństwo informacyjne i wykluczenie informacyjne

Termin społeczeństwo informacyjne (SI), został zdefiniowany w 1963 roku przez japońskiego dziennikarza Tadao Umesao, w celu opisu ewolucyjnej teorii społeczeństwa opartego na przetwarzaniu informacji [1], [2]. Choć od pojawienia się tego terminu upłynęło już ponad 50 lat, wykorzystuje się wiele różnorodnych definicji SI. Zgodnie z jedną z trafniejszych, *SI to społeczeństwo charakteryzujące się przygotowaniem i zdolnością do użytkowania systemów informatycznych, skomputeryzowane i wykorzystujące usługi telekomunikacji do przesyłania i zdalnego przetwarzania informacji*. Z pojęciem społeczeństwa informacyjnego, nierozdzielnie wiąże się zjawisko wykluczenia cyfrowego (WC), oznaczające systemowe różnice w dostępie i korzystaniu z komputerów i Internetu pomiędzy osobami o odmiennym statusie społeczno-ekonomicznym, na różnych etapach życia, pomiędzy kobietami i mężczyznami, mieszkańcami obszarów miejskich i wiejskich, a także różnych regionów kraju. Uważa się, że WC jest jedną z najważniejszych przyczyn pogłębiania i utrwalania niekorzystnych zjawisk społecznych i podstaw, zmniejszających skuteczność społecznego oddziaływania na jednostkę [3], [4].

W ostatnich dziesięcioleciach opublikowano ogromną liczbę prac naukowych rozwijających metody i środki budowy i oceny SI. W Polsce, pierwsze znaczące prace poświęcone temu tematowi pojawiły się początkiem lat 90-tych i dotyczyły podstawowych koncepcji budowy społeczeństwa informacyjnego. Pomimo tego, że tworzenie SI trwa w Polsce już blisko 20 lat, poziom jego zaawansowania jest daleko niezadowalający. Jako jedną z podstawowych tego przyczyn postrzegane jest wciąż obecne WC. Dotychczasowe doświadczenia pokazują, że proces budowy SI jest i będzie w polskich warunkach stosunkowo trudny i obejmie swym zasięgiem praktycznie wszystkie obszary życia. Informatyzacja otaczającej rzeczywistości już doprowadziła do istotnej zmiany relacji międzyludzkich, przyczyniła się do rozwoju ekonomiki sieciowej i wirtualnych organizacji [5], [6], [7].

Powszechnie wiadomo, że znaczenia rozwiniętego społeczeństwa informacyjnego trudno jest przecenić. W przekonaniu wszystkich badaczy, jego poziom odgrywa pierwszoplanową rolę w podnoszeniu inwestycyjnej atrakcyjności regionu, poprawie jakości życia jego mieszkańców, tworzeniu kapitału ludzkiego. Choć dotychczasowe badania prowadzone w kraju i zagranicą wnoszą istotny teoretyczny i praktyczny wkład w zagadnienia tworzenia społeczeństwa informacyjnego, to były one skoncentrowane na obszarze całego kraju i zazwyczaj nie uwzględniały specyfiki lokalnych społeczności. W szczególności, niewystarczające są badania obejmujące obszary wiejskie Podkarpacia, oddalone od aglomeracji miejskich, z dominacją drobnych gospodarstw rodzinnych, prowadzących gospodarke ekstensywną. Obszary te dotknięte są szczególnie niekorzystnymi zjawiskami społecznymi, takimi jak: niski poziom dochodów, szybkie starzenie się społeczeństwa, słaby poziom wykształcenia oraz masowa emigracja [8].

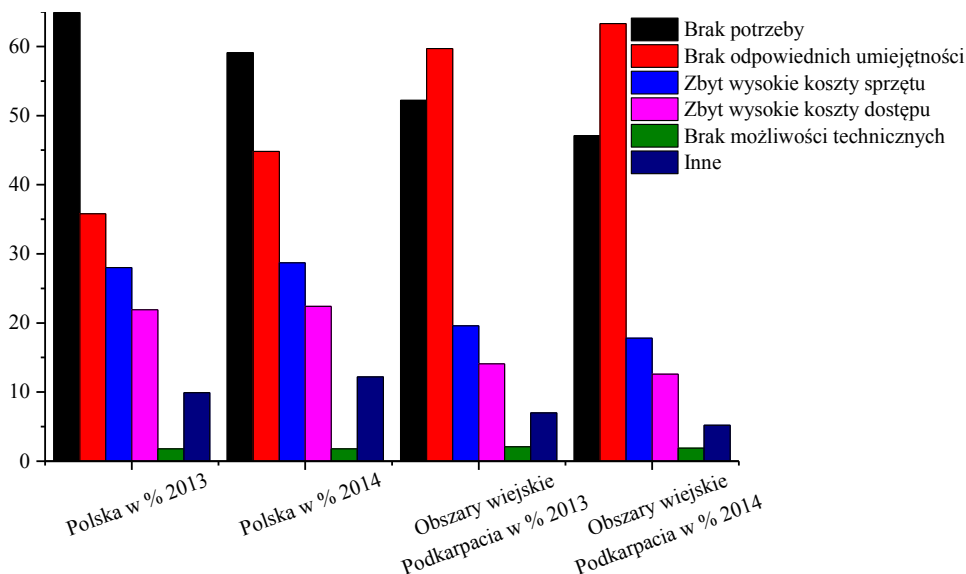
Celem prowadzonych przez autorów badań, było określenie przyczyn wykluczenia cyfrowego na terenie województwa podkarpackiego oraz jego wpływu na budowę społeczeństwa informacyjnego, poziom życia mieszkańców regionu i jego atrakcyjność inwestycyjną. W podsumowaniu, zawarto najważniejsze zalecenia, które mogą przyczynić się do wzrostu poziomu społeczeństwa informacyjnego na analizowanym obszarze.

2. Przyczyny wykluczenia cyfrowego na Podkarpaciu

Klasyfikację przyczyn wykluczenia cyfrowego dla gmin wiejskich woj. podkarpackiego oraz całego kraju, przedstawiono na rys. 1. Wyniki badań autorów wyraźnie różnią się od publikowanych w raportach GUS [9], [10] oraz pracach Batorskiego i Czaplńskiego [11]. Uwagę zwracają następujące różnice:

1. Na Podkarpaciu, pomimo znacznie niższego poziomu płac oraz większej liczby niezamożnej ludności wiejskiej, czynniki ekonomiczne są o blisko 10% rzadszym powodem wykluczenia niż dla średniej krajowej;
2. Dominującą przyczyną wykluczenia dla woj. podkarpackiego jest, w ocenie respondentów, brak umiejętności obsługi komputera i sieci Internet;

3. Mieszkańcy Podkarpacia, w większym stopniu niż statystyczny Polak, odczuwają potrzebę korzystania z komputera i Internetu.



Rys. 1. Przyczyny wykluczenia cyfrowego w Polsce i na Podkarpaciu.

Źródło: Główny Urząd Statystyczny oraz badania własne.

Wśród najczęściej wymienianych innych przyczyn WC, należy wyróżnić obawy o swoje bezpieczeństwo oraz o stan zdrowia, który może ulec pogorszeniu w wyniku kontaktu z komputerem lub siecią.

3. Wpływ wykluczenia cyfrowego

Aby oszacować wpływ wykluczenia na poziom życia społeczno-gospodarczego, przeanalizujemy zależności pomiędzy poziomem nasycenia usługami szerokopasmowymi, a wybranymi charakterystykami poziomu życia. W tabeli 1, zaprezentowano klasyfikację gmin Podkarpacia względem pokrycia usługami szerokopasmowymi. Posłuży ona za podstawę dalszych porównań. W tabeli 2, pokazano zależność pomiędzy pokryciem, a średnią liczbą osób zatrudnionych, a także średnią ilością czytelników bibliotek w gminie na 1000 mieszkańców. Wyniki badań pokazują, że wbrew panującemu przekonaniu o ścisłym powiązaniu wykluczenia cyfrowego i aktywności zawodowej, w przypadku Podkarpacia zależność taka jest umiarkowana. Największa liczba osób aktywnych zawodowo pojawia się na obszarach z bardzo niskim poziomem pokrycia usługami dostępu. Z kolei, poziom czytelnictwa jest najwyższy w gminach o najmniejszym i największym pokryciu. Tak więc, w świetle przeprowadzonych badań, Internet nie zastępuje innych źródeł kultury, a likwidacja bibliotek jest działaniem przedwczesnym.

Tabela 1. Kwalifikacja gmin woj. podkarpackiego pod względem pokrycia szerokopasmowymi usługami dostępowymi. Źródło: *Urząd Komunikacji Elektronicznej*.

Gminy ze wskazanym procentowym poziomem nasycenia usługami dostępowymi					
0-10%	11-20%	21-30%	31-50%	51-70%	71-100%
Adamówka, Baligród, Bircza, Cieszanów, Cisna, Czarna, Dubiecko, Dydnia, Fredropol, Horyniec-Zdrój, Kańczuga, Krempna, Lubaczów (wiejska), Narol, Oleszyce, Osiek Jasielski, Radymno (wiejska), Stary Dzików, Stubno, Tryńcza, Tyrawa, Wołoska, Zarszyn	Bukowsko, Chłopice, Harasiuki, Iwierzyce, Kolbuszowa, Koмаńcza, Krasiczyn, Krzeszów, Laszki, Lutowiska, Medyka, Olszanica, Pysznica, Raniżów, Runnik nad Sanem, Sędziszów Małopolski, Solina, Ulanów, Ustrzyki, Wiązownica, Wielkie Oczy, Wojaszówka, Zaklików, Żurawica	Brzostek, Dukla, Frysztak, Grębów, Jaślica, Kuryłówka, Lesko, Leżajsk (wiejska), Nowa Sarzyna, Pilzno, Radomyśl nad Sanem, Rymanów, Sanok (wiejska), Sieniawa, Zagórz	Bojanów, Cmolas, Czudec, Dzikowiec, Jeżowe, Niwiska, Nowa Dęba, Nowy Żmigród, Ropczyce, Strzyżów, Tuszów Narodowy, Wielopole Skrzyńskie, Wiśniowa, Zaleszany	Białobrzegi, Chmielnik, Czarna Łańcucka, Hyżne, Markowa, Niebylec, Rakszawa, Sokołów Małopolski, Tyczyn	Błażowa, Krasne, Łańcut (wiejska), Lubenia, Trzebownisko

Tabela 2. Wpływ poziomu pokrycia szerokopasmowymi usługami dostępowymi na: **a.** średnią liczbę pracujących na 1000 mieszkańców; **b.** średnią liczbę czytelników bibliotek na 1000 mieszkańców. Źródło: *Główny Urząd Statystyczny*.

Poziom pokrycia gminy usługami szerokopasmowymi w %											
0-10		11-20		21-30		31-50		51-70		71-100	
Pracujący	Czytelnicy	Pracujący	Czytelnicy	Pracujący	Czytelnicy	Pracujący	Czytelnicy	Pracujący	Czytelnicy	Pracujący	Czytelnicy
82,36	103,1	106,9	97,67	98,00	70,13	93,78	60,14	106,2	55,89	106,1	77,60
Odporownie, liczba osób pracujących i czytelników bibliotek na 1000 mieszkańców											

W tabeli 3 zaprezentowano wpływ poziomu nasycenia usługami na liczbę zarejestrowanych bezrobotnych oraz dostępność komputerów w szkołach podstawowych i gimnazjalnych. W badaniach z 2006 roku, prezentowanych m. in. w [12]

można zauważyć wyraźne korelacje w obu powyższych kategoriach. Obecnie, opisywane powiązanie nie ma praktycznego znaczenia.

Tabela 3. Wpływ dostępności usług szerokopasmowych na: **a.** procentowy udział zarejestrowanych bezrobotnych w ogóle ludności w wieku produkcyjnym; **b.** średnią liczbę uczniów przypadających na jeden komputer, odpowiednio w szkołach podstawowych i gimnazjalnych. Źródło: *Główny Urząd Statystyczny*.

Poziom pokrycia gminy usługami szerokopasmowymi w %											
0-10		11-20		21-30		31-50		51-70		71-100	
Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G	Bezrobotni	SP/G
13,74	8,9/ 8,4	12,89	7,3/ 10,0	11,59	7,9/ 7,7	12,6 1	7,3 10,6	11,7 1	7,1/ 11,6	9,58	8,8/ 12,8
Udział zarejestrowanych bezrobotnych w ogóle ludności w wieku produkcyjnym oraz liczba uczniów przypadających na komputer w szkołach podstawowych i gimnazjalnych											

4. Podsumowanie i dalsze prace

Przeprowadzone badania pokazują odmienny, od powszechnie znanego, obraz przyczyn i skutków wykluczenia cyfrowego na obszarze województwa podkarpackiego. W szczególności:

1. Pomijając tereny niezamieszkałe (pola uprawne, nieużytki, wody śródlądowe, kompleksy leśne) na Podkarpaciu nie występują obszary, na których uzyskanie dostępu do sieci Internet jest niemożliwe. Poziom świadczenia usług na terenach wiejskich, zasadniczo nie odbiega od poziomu w miastach, a w niektórych przypadkach go przewyższa;
2. Koszty usług dostępowych oraz niezbędnego do tego sprzętu, znajdują się na poziomie akceptowalnym i dostępnym dla większości mieszkańców Podkarpacia;
3. Podstawową przyczyną wykluczenia jest strona mentalna, w szczególności, brak zainteresowania usługami oferowanymi przez sieć Internet oraz brak umiejętności posługiwania się urządzeniami komputerowymi.

Powyższe konkluzje nie oznaczają, że wszelkie działania mające na celu rozwój społeczeństwa informacyjnego na Podkarpaciu są zbędne. Do najpotrzebniejszych, możemy odnieść:

1. Zwiększenie asortymentu usług e-administracji publicznej, zapewniających załatwianie spraw urzędowych za pośrednictwem sieci;
2. Organizację nieodpłatnych szkoleń adresowanych, do osób w średnim wieku, z zakresu obsługi komputera i wykorzystania Internetu. Szkoleniom powi-

nien towarzyszyć agresywny marketing i mechanizm zachęt, skłaniający osoby wykluczone do udziału w nich;

3. Poprawę konkurencyjności usług dostępowych na wybranych obszarach.

Szczególna rola w powyższych działaniach powinna przypaść samorządom, organizacjom społecznym oraz lokalnemu biznesowi.

Drugim, istotnym wnioskiem płynącym z przeprowadzonych badań jest wykazanie stopniowego ograniczania wpływu dostępności szerokopasmowego Internetu na charakterystyki społeczno-gospodarcze regionu. Wpływ taki, co prawda istnieje, ale jego znacznie jest wielokrotnie mniejsze niż dekadę temu.

Bibliografia

- [1] J. Papińska-Kacperek, Red., Społeczeństwo informacyjne, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [2] M. Castells i P. Himanen, Społeczeństwo informacyjne i państwo dobrobytu, Warszawa: Wydawnictwo Krytyki Politycznej, 2009.
- [3] L. H. Haber, Red., Komunikowanie i zarządzanie w społeczeństwie informacyjnym. Wybrane zagadnienia, Kraków: NOMOS, 2011.
- [4] L. Haber i M. Niezgoda, Społeczeństwo informacyjne. Aspekty funkcjonalne i dysfunkcjonalne, Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2006.
- [5] W. M. Maziarz, Rozwój rynku usług telekomunikacyjnych w warunkach kształtowania społeczeństwa informacyjnego w Polsce, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 2013.
- [6] A. Dąbrowska, M. Janoś-Kresło i A. Wódkowski, E-usługi a społeczeństwo informacyjne, Warszawa: DIFIN, 2009.
- [7] M. Golka, Bariery w komunikowaniu i społeczeństwo (dez)informacyjne, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [8] M. Cierpień-Wolan, Red., Województwo podkarpackie. Podregiony, powiaty, gminy - 2013, Rzeszów: Urząd Statystyczny w Rzeszowie, 2013, p. 356.
- [9] Główny Urząd Statystyczny. Urząd Statystyczny w Szczecinie, Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2007-2011, Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, 2012.
- [10] Główny Urząd Statystyczny. Urząd Statystyczny w Szczecinie, Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2008-2012, Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, 2012.
- [11] J. Czapiński i T. Panek, Diagnoza społeczna 2013. Warunki i jakość życia Polaków, Warszawa, 2013.
- [12] Główny Urząd Statystyczny. Urząd Statystyczny w Szczecinie, Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2006-2010, Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, 2010.

ROZDZIAŁ 5

Badania symulacyjne efektywności zmodernizowanych systemów zaopatrzenia w wodę

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ, Roman KOROSTENSKYI

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie

Miroslaw.Hajder@gmail.com, JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl, Korostenskyi@gmail.com

Streszczenie

W rozdziale, zaproponowano zastosowanie skomputeryzowanego modelowania matematycznego w procesie modernizacji sieci wodociągowych. Pokazano, że symulacja może być realizowana z wykorzystaniem tanich alternatyw komercyjnych programów projektowania sieci wodociągowych. W tym celu, w środowisku MATLAB/Simulink, opracowano modele ujęcia i dystrybucji wody. Na ich bazie przetestowano algorytmy sterowania pompami, pozwalające minimalizować zużycie energii oraz przedłużyć ich żywotność. W szczególności, analizie poddano częstotliwości załączania i czasy pracy pomp w zależności od ciśnienia w układzie dostarczania wody oraz od jej poziomu w zbiorniku magazynującym. Zaprezentowane metody mogą być z powodzeniem wykorzystane w niewielkich systemach zaopatrzenia w wodę. Rozdział jest przeznaczony dla osób zajmujących się zaopatrzeniem w wodę.

1. Wprowadzenie

Jednym z istotnych czynników determinującym atrakcyjność gminy dla mieszkańców i inwestorów jest dostępność oraz jakość infrastruktury wykorzystywanej na jej terenie. W większości przypadków, gminy przywiązują szczególną uwagę do infrastruktury drogowej i telekomunikacyjnej. Niestety, niewiele gmin Podkarpacia, w swoich prospektach reklamowych, wspomina o innym kluczowym elemencie infrastruktury – sieci wodociągowej. Samorządy oferujące wodę o dobrych parametrach fizykochemicznych i biologicznych, wysokich walorach smakowych, w niskiej cenie i nieograniczonej ilości należą w skali kraju do rzadkości. Podstawowymi problemami większości gminnych wodociągów są [1], [2] [3], [4]:

1. Znaczne zużycie fizyczne części stacyjnej i (w mniejszym stopniu) liniowej. W rezultacie, wodociągi charakteryzuje wysoka awaryjność oraz zauważalne straty wody w procesie jej produkcji i dystrybucji;

2. Niefektywność energetyczna wykorzystywanych urządzeń, zwiększająca koszty funkcjonowania;
3. Brak środków na modernizację, których wymagana wielkość często przekracza możliwości finansowe samorządów;
4. Praca w trybie zmiennej konsumpcji z cyklicznymi zmianami zapotrzebowania, utrudniająca efektywne funkcjonowanie sieci pozbawionej elementów inteligentnej automatyki;
5. Niska jakość dostępnych oraz powszechny deficyt zasobów wodnych, podwyższające koszty ich pozyskania i uzdatniania.

W większości przypadków, gminne wodociągi w warunkach niskiego i średniego zapotrzebowania funkcjonują bezawaryjnie, istotne problemy pojawiają się dopiero przy wyższych obciążeniach. Zazwyczaj, z uwagi na przestarzałe rozwiązania techniczne, kompensowanie zmian wynikających ze zwiększonego poboru wody jest bardzo trudne. Prostem i skutecznym sposobem zauważalnej poprawy jakości świadczonych usług, przy jednoczesnym rozłożeniu w czasie ponoszonych kosztów, jest zastosowanie w sieci rozwiązań typu *smart water*, pozwalających lepiej wykorzystywać posiadane zasoby. Zastosowanie inteligentnych rozwiązań, nawet na niewielkim fragmencie sieci, przynosi wymierne korzyści i jest zalecane szczególnie w przypadku, kiedy ze względów finansowych sieć może być modernizowana wyłącznie w ograniczonym zakresie. Stosowanie podobnych technologii wymaga wcześniejszej analizy skuteczności wprowadzanych zmian, do czego konieczne jest modelowanie sieci w postaci pierwotnej oraz po wprowadzeniu ulepszeń [5], [6], [7].

Jeszcze kilka-, kilkanaście lat temu modelowanie sieci wodociągowej było bardzo kosztowne i wymagało wysokich kwalifikacji personelu inżynierskiego. Obecnie, dzięki pojawieniu się przeznaczonych specjalnie do tego celu narzędzi informatycznych jest ono dostępne nawet dla mniejszych gmin. Narzędzia pozwalają analizować zmiany parametrów sieci w czasie, prognozować rozprzestrzenianie się domieszek i zanieczyszczeń, analizować zmiany składu chemicznego wody, a także badać niestacjonarne przepływy w złożonych sieciach [8], [9].

Podstawą funkcjonowania dowolnego programu symulacyjnego jest model matematyczny, który powinna charakteryzować wysoka zgodność z badanym obiektem. W celu zapewnienia maksymalnej precyzji obliczeń, model ten jest kalibrowany za pomocą obserwacji i pomiarów, których wyniki uogólniane są metodami genetycznymi lub ewolucyjnymi. Ponadto, obligatoryjnymi komponentami systemu modelowania są: programy CAD, zapewniające szybki opis architektury projektowanego obiektu; bazy danych gromadzące gotowe projekty oraz ich elementy składowe, a także systemy geoinformacyjne GIS [2], [5], [6].

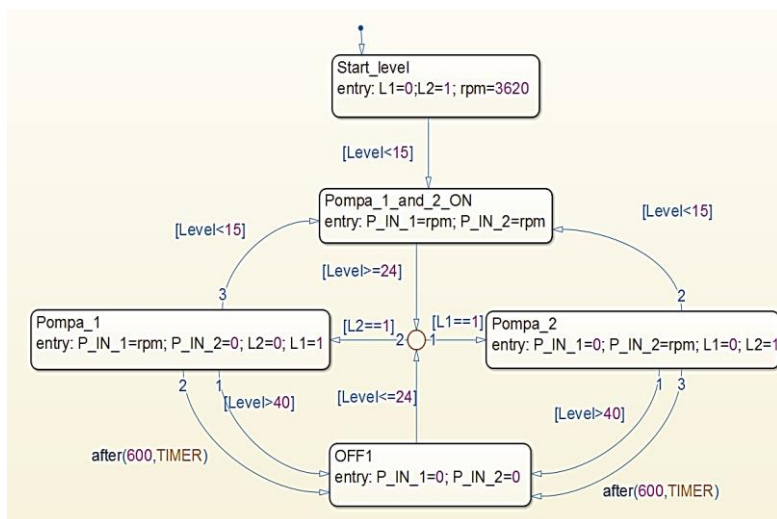
Niestety, tak szeroki zakres narzędzi niezbędnych do modelowania zachowania sieci może wiązać się ze znacznymi kosztami, które nie w każdym przypadku przyniosą oczekiwane efekty. Z tego właśnie powodu, autorzy proponują wyko-

rzystanie do modelowania programu Matlab [7], [10], [11], [12] bądź jego niekomercyjnych analogów. Efektywność takiego rozwiązania, przetestowano na przykładzie sterowania zestawem pomp – newralgicznego elementu każdej sieci wodociągowej. W rozdziale przedstawiono symulację działania agregatów pompowych rzeczywistego systemu zaopatrzenia w wodę, zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych wpływu ich pracy na wybrane parametry całego układu.

2. Algorytm sterowania pompami ujęcia wody

Rozważmy system dostawy wody (SDW), wykorzystujący zbiornik magazynujący. Zbiornik taki jest napełniany za pomocą pomp zasilanych ze źródeł naziemnych lub podziemnych. Dalej, pompy te będziemy nazywać pompami ujęcia wody. Z uwagi na zmienność konsumpcji oraz ograniczoną wydajność źródeł, zbiornik taki jest obowiązkowym elementem większości SDW.

Na rys. 1 za pomocą charakterystycznego dla produktów firmy MathWorks diagramu *Stateflow*, przedstawiono algorytm sterowania pompami ujęcia wody. Jego zadaniem jest utrzymanie poziomu w zbiorniku pomiędzy określonymi wcześniej wartościami granicznymi. Algorytm zapobiega przepełnieniu zbiornika oraz jego nadmiernemu opróżnieniu. Wybierając pompę do uruchomienia, dba on o równomierne zużycie wszystkich urządzeń, tj. wybiera tę, która ostatnio nie była włączana. Bezpośrednio po osiągnięciu wskazanego poziomu, pompa jest zatrzymywana. Jeżeli konsumpcja jest na tyle wysoka, że pomimo uruchomienia jednego agregatu, poziom spada poniżej wskazanego, sterownik uruchamia kolejną pompę. Jest ona zatrzymywana bezpośrednio po osiągnięciu bezpiecznego stanu [6], [9], [13], [14].



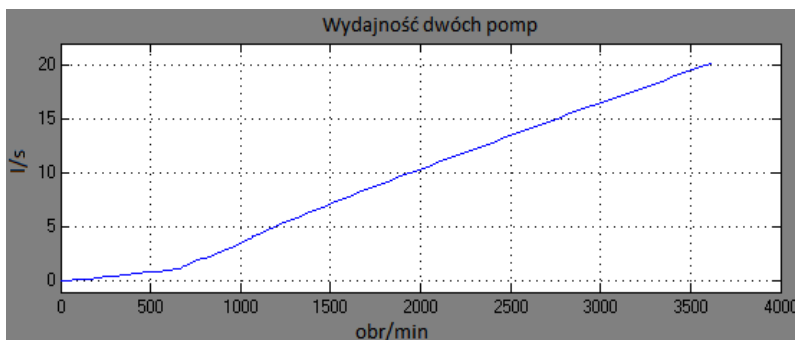
Rys. 1. Algorytm sterowania pompami ujęcia wody

Jak określono wcześniej, jednym z najważniejszych zadań, stojących przed algorytmem sterowania jest zapewnienie równomiernego zużycia agregatów. Wbrew obiegowej opinii, zadanie to nie jest trywialne. Rozważmy następujący scenariusz: objętości wody dostarczanej do zbiornika i pobieranej z niego są identyczne. W takim przypadku, aktualnie uruchomiony agregat pracowałby do awarii lub całkowitego zużycia. Choć opisana sytuacja jest mało prawdopodobna, algorytm musi ją eliminować. Dlatego, zawiera on obligatoryjną zmianę pracujących pomp po upływie wskazanego czasu. W algorytmie z rys. 1, aktualny poziom wody w zbiorniku określa zmienna *Level*, ustaloną odgórnie prędkość obrotową agregatów zmienna *rpm*, a binarne zmienne *L1* oraz *L2* identyfikują ostatnio pracujące pompy. Wartości stałych i zmiennych, niezbędnych do testowania algorytmu pobierane są na bieżąco ze środowiska Simulink [3], [11], [12].

Sygnaly sterujące *P_IN_1* oraz *P_IN_2* algorytmu informują o uruchomieniu lub zatrzymaniu każdej z pomp oraz ich prędkości obrotowej. Ponieważ opisywany algorytm nie określa sumarycznego czasu agregatów, można podejrzewać że poziom zużycia obu urządzeń może się różnić. Jednak badania empiryczne udowodniły, że w relacjach długoterminowych, dla urządzeń o identycznej wydajności poziomy te są niemal identyczne. Idee zastosowane do tworzenia powyższego algorytmu są uniwersalne i można je wykorzystywać do sterowania pracą systemu z dowolną liczbą agregatów.

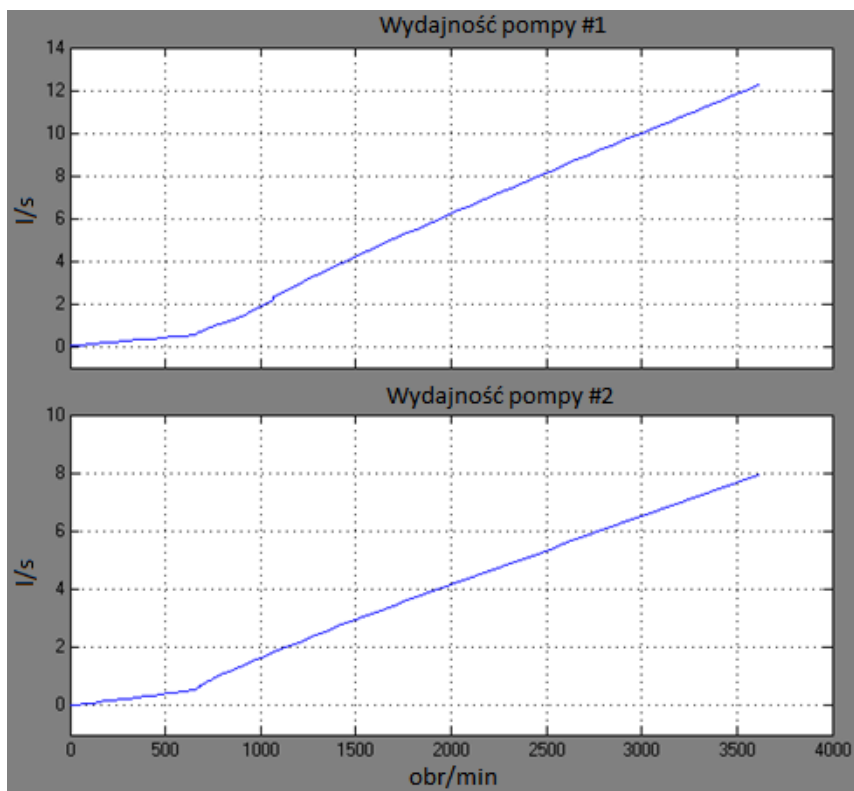
3. Wydajność pomp ujęcia wody

Jednym z najważniejszych parametrów dowolnej pompy jest wydajność określana jako objętość cieczy przepompowanej w jednostce czasu. Wydajność agregatów pompowych jest bardzo różna i zawiera się w przedziale od ułamków po tysiące m³ na godzinę. Na wykresie z rys. 2 zaprezentowano sumaryczną wydajność obu pomp, używanych w analizowanym systemie. Wszystkie wykresy z rys. 2 oraz rys. 3 obrazują zależność pomiędzy określaną w litrach na sekundę wydajnością pompy, a prędkością obrotową ich wirnika w obrotach na minutę.



Rys. 2. Wydajność dwóch równoległe podłączonych pomp ujęcia wody (l/s)

Wykres z rys. 3 pokazuje zależność pomiędzy wydajnością a prędkością obrotową każdej z pomp. Na podstawie przedstawionych wykresów, wydajność pierwszej pompy można oszacować na 12,2 l/s, drugiej na 8 l/s. Sumaryczna maksymalna wydajność zespołu pomp osiąga wartość 20,2 l/s co w połączeniu z zaproponowanym algorytmem sterowania, wystarcza do zapełniania zbiornika magazynującego analizowanego SDW.



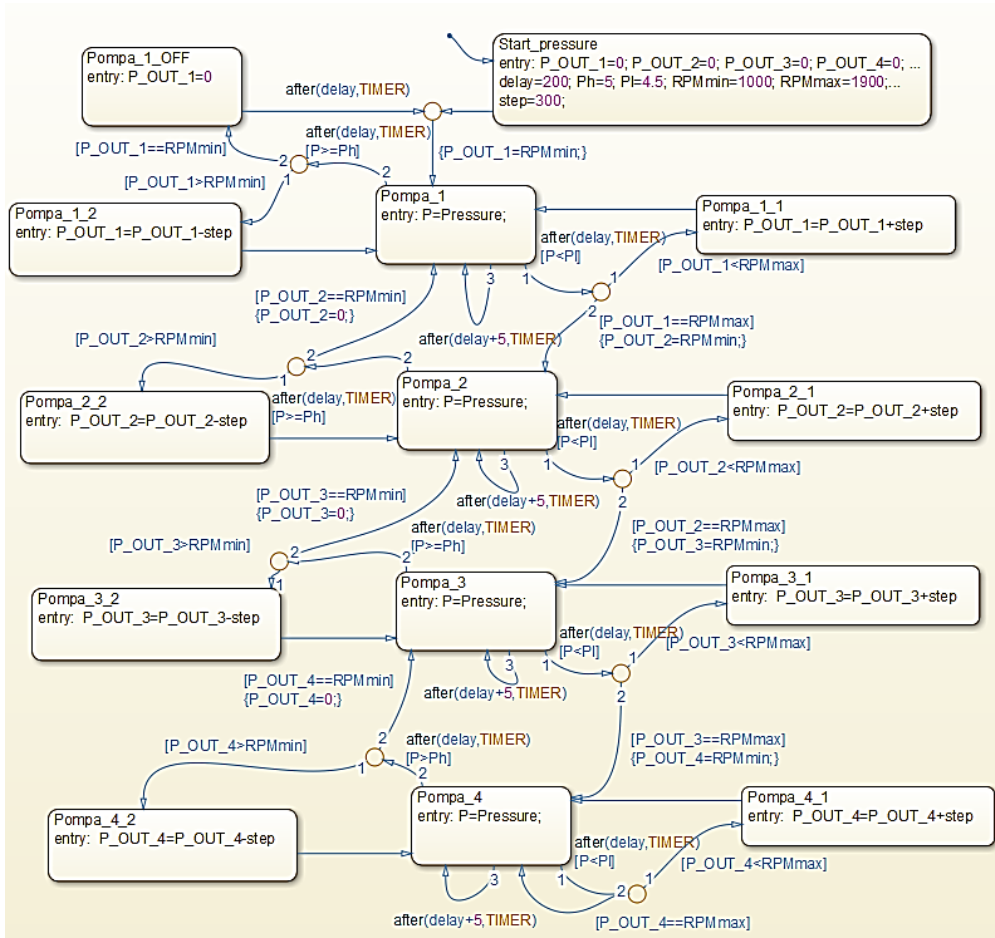
Rys. 3. Wydajność poszczególnych pomp ujęcia wody (l/s)

4. Algorytm sterowania pompami dystrybucji

Drugim rodzajem agregatów, wykorzystywanych w SDW są pompy dystrybucji, przeznaczone do utrzymania ciśnienia w wodociągu na odpowiednim poziomie. Podobnie jak poprzednio, algorytm sterowania powinien zagwarantować minimalizację zapotrzebowania na energię elektryczną oraz równomierność zużycia wykorzystywanych agregatów. Cechy takie posiada algorytm, przedstawiony na rys. 4 w postaci diagramu *Stateflow*.

Podstawą funkcjonowania algorytmu jest założenie, że zmiana prędkości obrotowej wirnika skutkuje zmianą wydajności pompy. Prędkość obrotowa agregatów wymagana do poprawnego funkcjonowania SDW jest determinowana ciśnieniem,

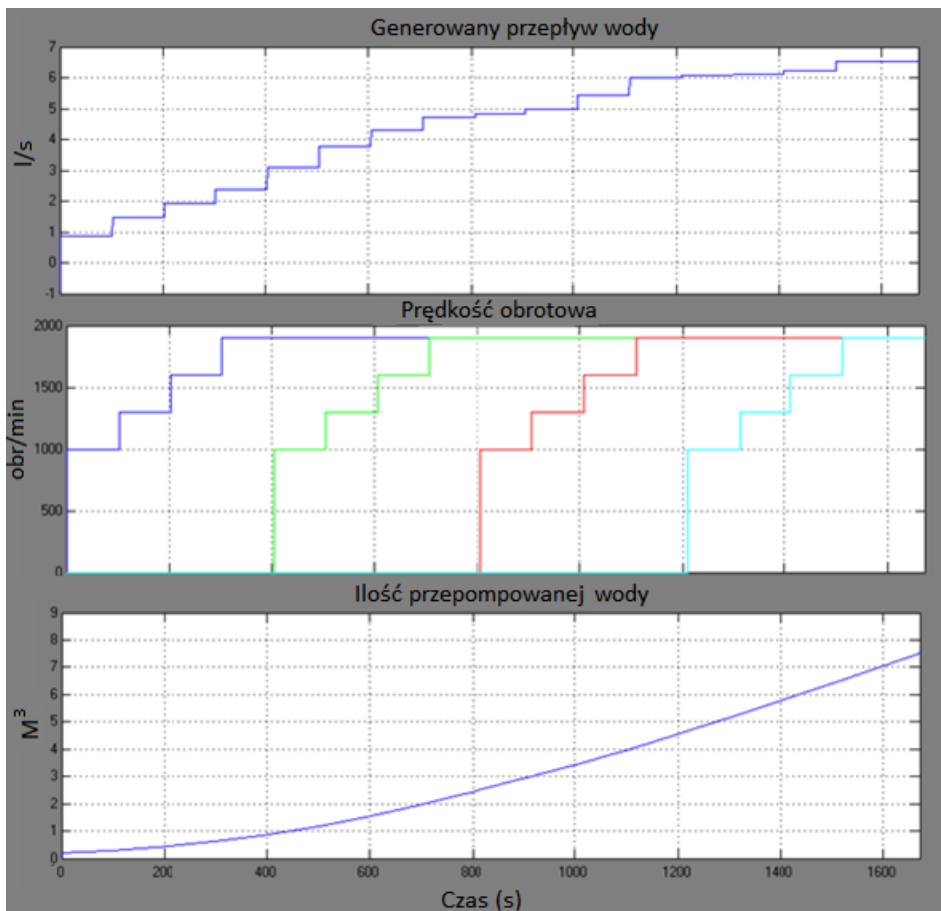
określanych przez czujnik zamontowany w punkcie pomiarowym. Po osiągnięciu przez pompę lub ich zestaw maksymalnej prędkości obrotowej i występującym nadal deficycie ciśnienia, uruchomiony zostaje kolejny agregat. Akceptowalny zakres ciśnień określają zmienne Ph oraz Pl , odpowiadające jego maksymalnej i minimalnej wartości. Po przekroczeniu maksymalnej wartości ciśnienia, prędkość obrotowa agregatu jest obniżana. Jeżeli pompa pracowała z minimalną prędkością, algorytm przewiduje jej wyłączenie.



Rys. 4. Algorytm sterowania pompami dystrybucji wody

W celu analizy wykorzystania pomp w systemie opartym na powyższym algorytmie, przeanalizujemy architekturę wyposażoną w cztery agregaty z regulowaną prędkością obrotową. Pierwszy z wykresów, pokazanych na rys. 5, opisuje zależność wydajności zestawu agregatów od ich prędkości obrotowej. Algorytm przewiduje włączanie kolejnych pomp wraz ze wzrostem konsumpcji. Zgodnie z wykresem, minimalna wydajność zestawu to 0,95 l/s, maksymalna zaś 6,5 l/s. Zau-

ważny, że po uruchomieniu kolejnej pompy, wydajność wzrasta nieliniowo, co jest konsekwencją wzrostu ciśnienia w rurociągu. Drugi wykres ilustruje zwiększanie prędkości każdego z agregatów przy wzroście konsumpcji wody. Algorytm zakłada, że uruchomienie kolejnej pompy będzie miało miejsce, jeżeli po osiągnięciu przez poprzednio włączoną maksymalnych obrotów, konsumpcja wody będzie nadal wzrastała. Ostatni z wykresów pokazuje sumaryczną objętość wody przepompowanej w czasie funkcjonowania zestawu.



Rys. 5. Analiza wydajności pomp dystrybucji

5. Analiza częstotliwości uruchamiania pomp ujęcia wody

Bazując na przygotowanym modelu konsumpcji, przeanalizujemy cykle włączania pomp ujęcia wody, zapewniające utrzymanie poziomów granicznych magazynu wody. Do sterowania pompami zastosowano algorytm opisany w §2 rozdziału. Dla zbiornika magazynującego, określono trzy kluczowe poziomy: awaryjny, mi-

nimalny oraz maksymalny. Pierwszy z nich ma przeciwdziałać całkowitemu opróżnieniu zbiornika. Jeżeli aktualny poziom jest niższy od awaryjnego, bezwzględnie uruchomione zostają obydwie pompy zasilające. Funkcjonują one do momentu osiągnięcia poziomu minimalnego, kiedy to jedna z pomp zostaje wyłączona. Druga z nich kontynuuje pracę aż do uzyskania poziomu maksymalnego, kiedy to zostaje zatrzymana. Jeżeli poziom spada do wartości minimalnej, uruchamiany jest agregat ostatnio znajdujący się w stanie spoczynku. Powyższy cykl powtarza się, dzięki czemu w poprawnie zaprojektowanym SDW, poziom wody w zbiorniku utrzymywany jest w zadanym przedziale.

Wykorzystując przygotowaną aplikację, wykonano szereg symulacji, których celem było oszacowanie skuteczności opracowywanego algorytmu w rzeczywistych warunkach funkcjonowania. Pierwsza z nich, określa zależność częstotliwości uruchamiania agregatów od różnicy poziomów maksymalnego i minimalnego. Badania wykonano przy założeniu, że maksymalny czas pracy pompy wynosi godzinę. W tabeli 1 przedstawiono poziomy wody w zbiorniku, dla których przeprowadzono kolejne eksperymenty.

Tabela 1. Wartości poziomów dla poszczególnych eksperymentów

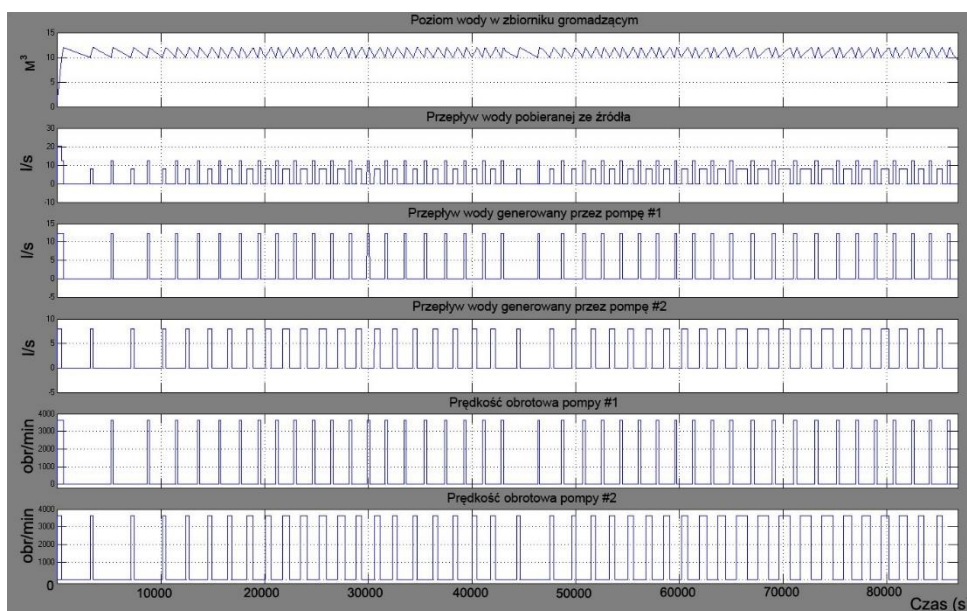
Ekspe- ryment	Poziom awaryjny (m³)	Poziom minimalny (m³)	Poziom maksymalny (m³)	Różnica pomiędzy poziomem minimalnym a maksymalnym (m³)
1	5	10	12,5	2,5
2	5	10	15	5
3	5	10	17,5	7,5
4	5	10	20	10
5	5	10	22,5	12,5
6	5	10	25	15
7	5	10	27,5	17,5
8	5	10	30	20
9	5	10	32,5	22,5
10	5	10	35	25

Poziomy określone w tabeli 1 wyrażone są w metrach sześciennych (m³), co pozwala uniezależnić badania od fizycznych rozmiarów studni i operować na faktycznych zapasach wody w zbiorniku. Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe sprowadzały się do określenia zależności pomiędzy częstotliwością załączania pomp, a różnicą pomiędzy minimalnym i maksymalnym poziomem wody w zbiorniku. Ich podstawowym celem było oszacowanie optymalnej, z punktu widzenia żywotności agregatów, różnicy poziomów. Wyniki eksperymentów przedstawiono w tabeli 2, a także na uzyskanych za pomocą pakietu Matlab/Simulink diagramach z rys. 6 – rys. 8.

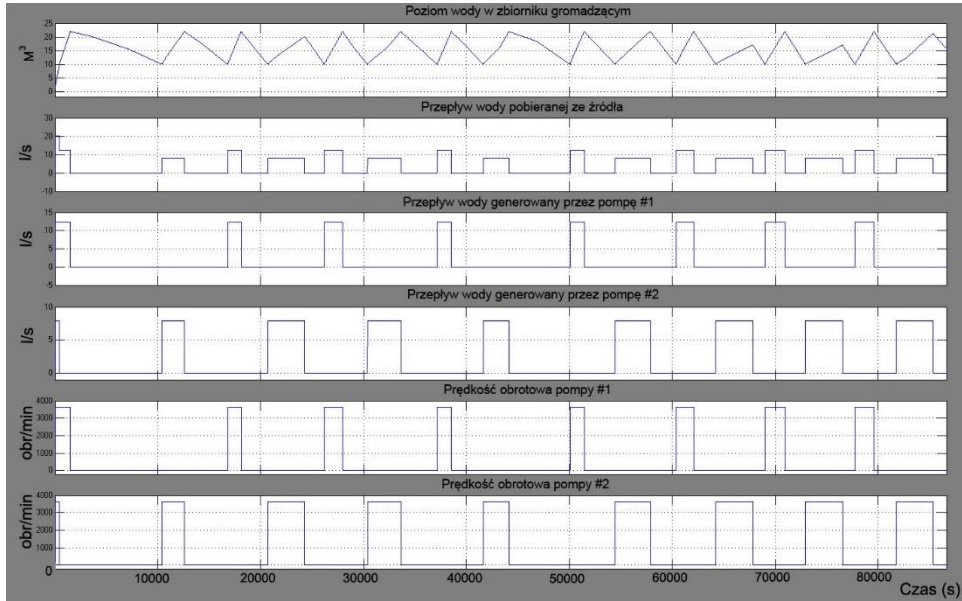
Tabela 2. Wyniki badań częstotliwości załączania pomp ujęcia wody

Eksperyment	Ilość załączeń pompy #1	Ilość załączeń pompy #2	Czas pracy pompy #1 (s)	Czas pracy pompy#2 (s)
1	42	42	11350	29930
2	18	18	11670	29060
3	14	13	12500	28820
4	11	10	13750	26960
5	10	9	13320	26540
6	8	8	14670	24850
7	8	7	16500	21980
8	7	7	16530	22050
9	7	7	18010	18210
10	7	6	19740	18450

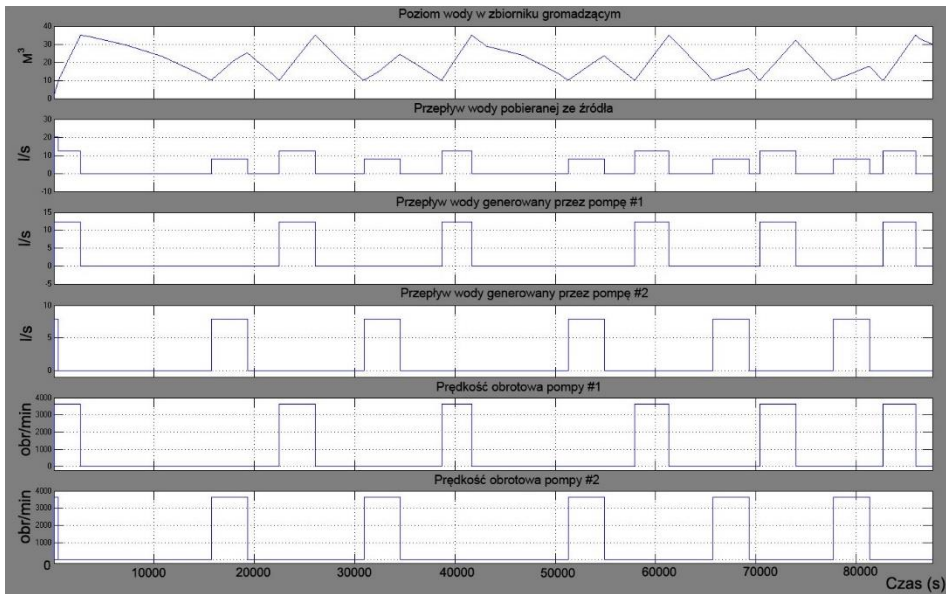
Obserwując diagramy z rys. 6 – rys. 8 zauważamy, że przy identycznym poziomie konsumpcji, częstotliwość uruchamiania agregatów zmniejsza się wraz ze wzrostem różnicy poziomów w zbiorniku magazynującym. Dla niewielkich wartości, znajdujących się w przedziale 2,5-10 m³, częstotliwość uruchamiania pomp jest wysoka, co negatywnie wpływa na ich żywotność. Wraz ze wzrostem różnicy wspomniana częstotliwość maleje.



Rys. 6. Charakterystyki funkcjonowania agregatów pompowych ujęcia wody dla eksperymentu 1, na bazie symulacji w środowisku Matlab/Simulink

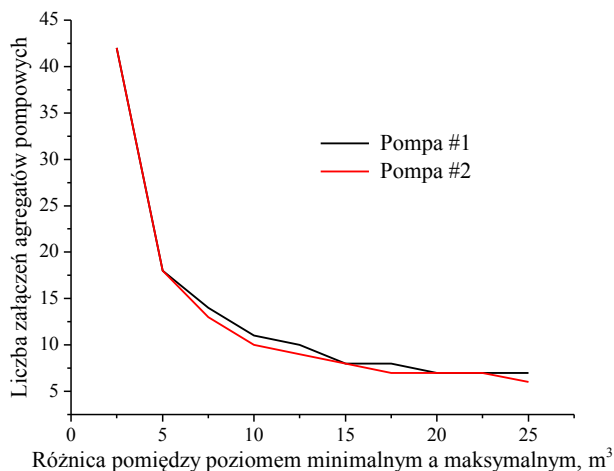


Rys. 7. Charakterystyki funkcjonowania agregatów pompowych ujęcia wody dla eksperymentu 5, na bazie symulacji w środowisku Matlab/Simulink



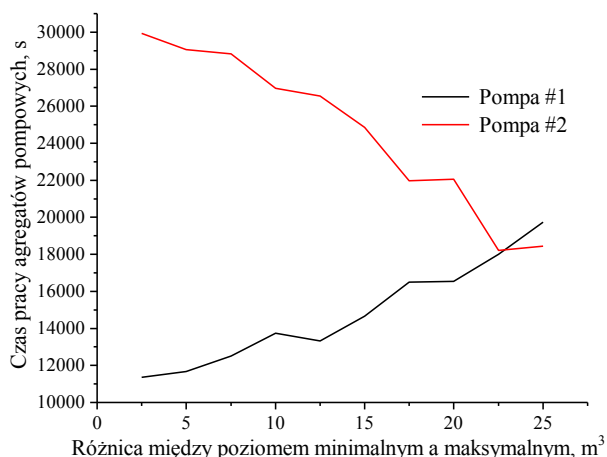
Rys. 8. Charakterystyki funkcjonowania agregatów pompowych ujęcia wody dla eksperymentu 10, na bazie symulacji w środowisku Matlab/Simulink

Graficzne porównanie częstotliwości załączania agregatów pompowych w funkcji różnicy poziomów w zbiorniku magazynującym przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Zależność częstotliwości uruchamiania pomp od różnicy między poziomami wody w zbiorniku magazynującym

Jak widać z powyższego wykresu, dzięki zastosowaniu algorytmu, liczba uruchomień obu agregatów jest zbliżona, co korzystnie wpływa na żywotność SDW. Dalszą poprawę charakterystyk systemu można uzyskać zapewniając zbliżone czasy funkcjonowania agregatów. Na rys. 10 zaprezentowano zależność pomiędzy czasem pracy pomp a różnicą poziomów. Z rysunku wynika, że dla analizowanego przypadku, najlepsze parametry uzyskuje się, kiedy różnica poziomów jest zbliżona do 22,5 m³. W rzeczywistych systemach tak duża różnica poziomów nie zawsze jest możliwa. Może to utrudniać zarówno wydajność źródeł, jak również model konsumpcji.



Rys. 10. Zależność czasu pracy agregatów pompowych od różnicy pomiędzy poziomami wody w zbiorniku magazynującym

6. Analiza częstotliwości załączania agregatów dystrybucji

Rozważmy SDW z czterema agregatami o regulowanej prędkości, której minimalna wartość wynosi 1000, maksymalna 1900 obrotów na minutę. Skok zmiany prędkości to 300 obrotów na minutę. Wartości ciśnienia dla poszczególnych eksperymentów przedstawiono w tabeli 3, czas pomiędzy pomiarami – 100 sekund.

Tabela 3. Wartości ciśnienia w kolejnych eksperymentach

Eksperyment	Ciśnienie maksymalne, (Bar)	Ciśnienie minimalne, (Bar)	Różnica pomiędzy ciśnieniami, (Bar)
1	4	4,2	0,2
2	4	4,4	0,4
3	4	4,6	0,6
4	4	4,8	0,8
5	4	5,0	1,0
6	4	5,2	1,2
7	4	5,4	1,4
8	4	5,6	1,6
9	4	5,8	1,8
10	4	6,0	2,0

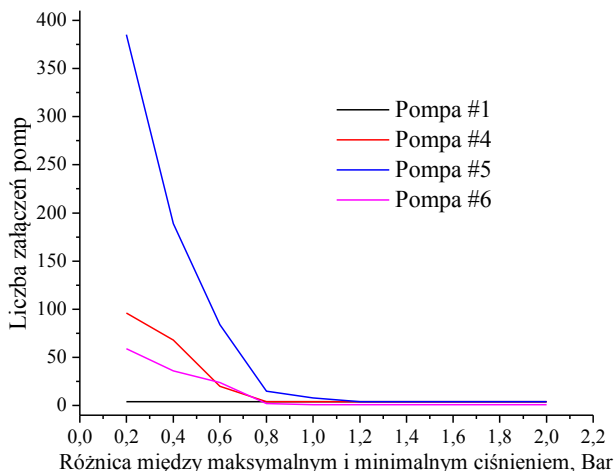
Celem badań jest określenie optymalnych warunków funkcjonowania pomp, zapewniających maksymalizację ich żywotności oraz minimalizację zapotrzebowania na energię. Wyniki badań symulacyjnych przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki badań częstotliwości załączenia pomp dystrybucyjnych

Eksperyment	Załączenia pompy #3	Załączenia pompy #4	Załączenia pompy #5	Załączenia pompy #6	Różnica pomiędzy ciśnieniem, (Bar)
1	4	96	385	59	0.2
2	4	68	189	36	0.4
3	4	20	84	24	0.6
4	4	4	15	2	0.8
5	4	4	8	1	1.0
6	4	4	4	1	1.2
7	4	4	4	1	1.4
8	4	4	4	1	1.6
9	4	4	4	1	1.8
10	4	4	4	1	2.0

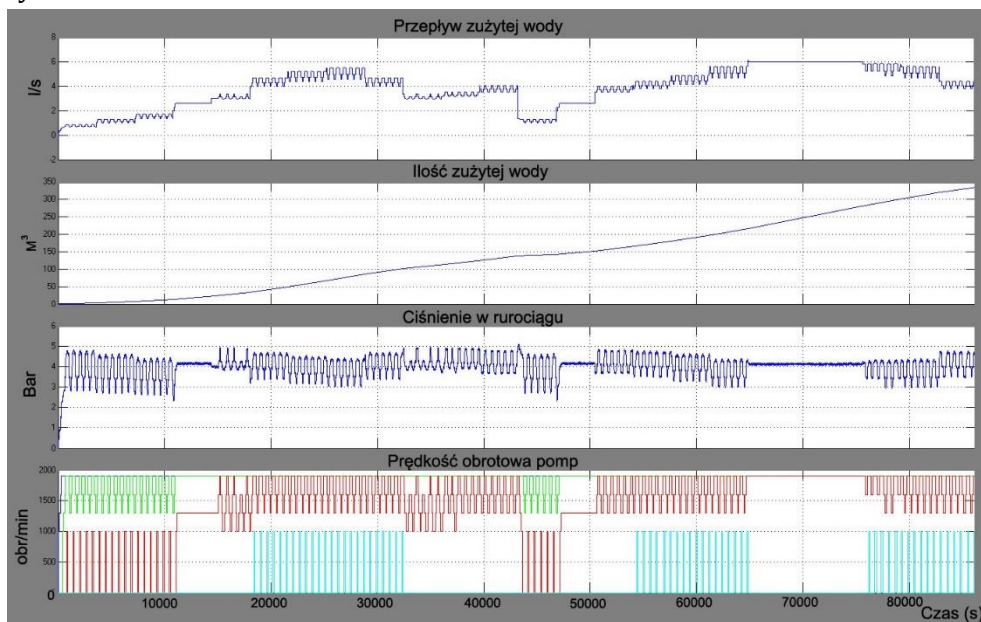
Z przeprowadzonych symulacji wynika, że przy nieznaczących różnicach ciśnień, uruchomienia agregatów oraz zmiana ich prędkości obrotowej występują stosun-

kowo często, czego ubocznym skutkiem jest niestabilność ciśnienia często przekraczającego wartości graniczne. Rozwiązaniem problemu jest zwiększenie różnicy ciśnień, w rezultacie czego poziom ciśnienia stabilizuje się, a liczba uruchomień pomp zostaje znacznie ograniczona. Zależność pomiędzy liczbą uruchomień każdego z agregatów a różnicą ciśnień, przedstawiono na rys. 11.

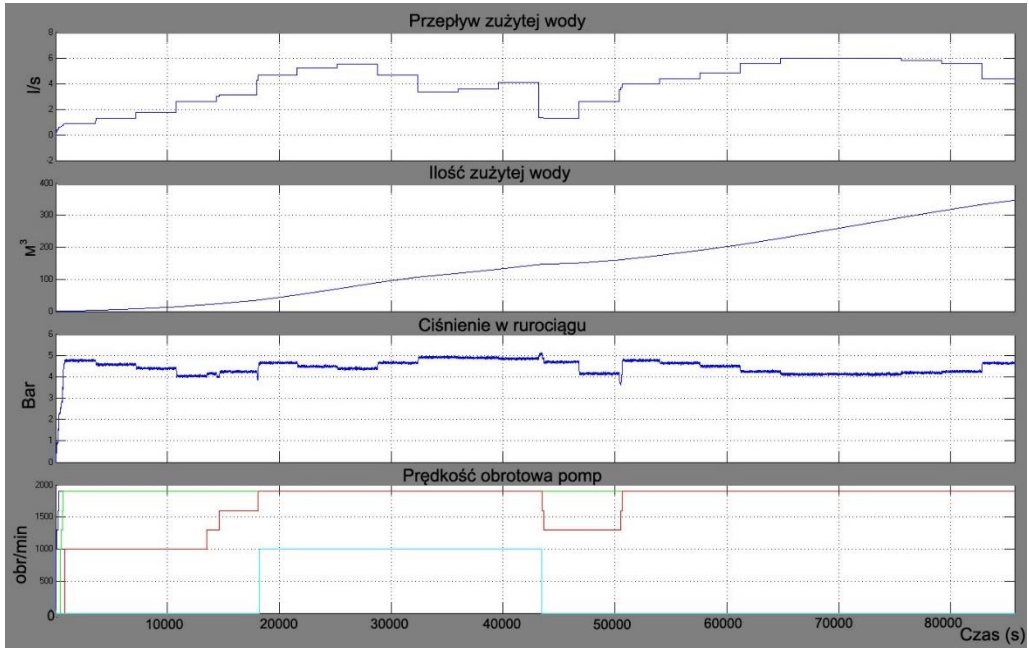


Rys. 11. Zależność liczby uruchomień agregatów od różnicy poziomów ciśnienia

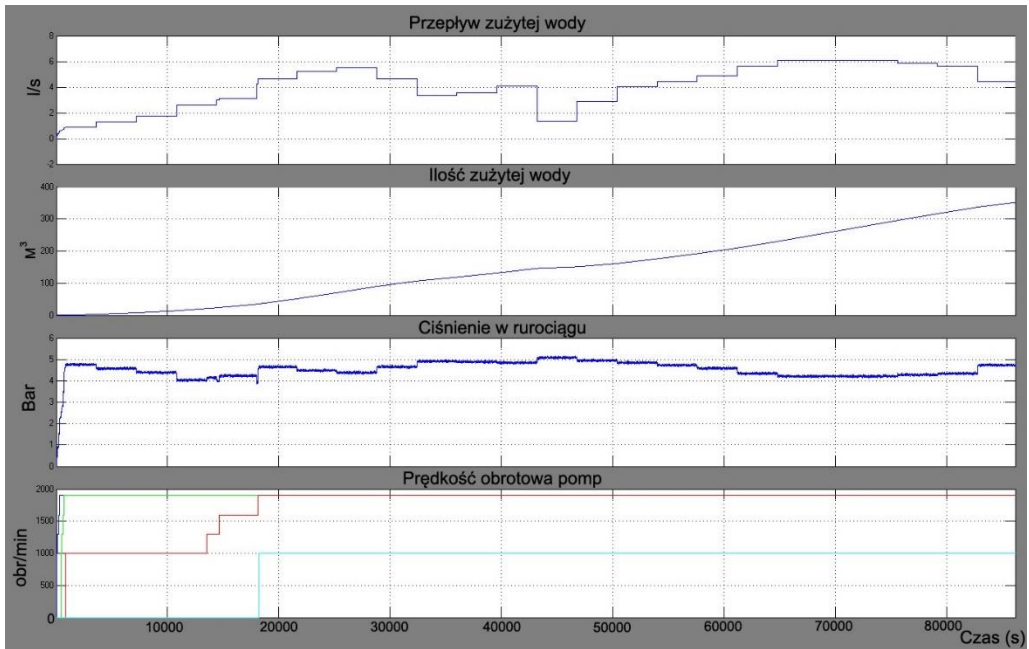
Diagramy ilustrujące funkcjonowanie pomp dystrybucji przedstawiono na rys. 12 – rys. 14.



Rys. 12. Tryby pracy pomp dystrybucji wody (eksperyment 1)



Rys. 13. Tryby pracy pomp dystrybucji wody (eksperyment 5)



Rys. 14. Tryby pracy pomp dystrybucji wody (eksperyment 10)

Dla analizowanego przypadku, optymalna różnica ciśnień znajduje się w przedziale 0,8-1,2 Bar. Dalsze jej zwiększanie jest niecelowe, bowiem dla zastosowa-

nego algorytmu nie wiąże się z jakimikolwiek korzyściami. Dalszej poprawy efektywności można poszukiwać w zastosowaniu pomp o różnej wydajności, dysponujących liniową regulacją wydajności.

7. Podsumowanie

Chociaż złożoność SDW nie należy do najwyższych wśród obiektów technicznych, ich projektowanie pozbawione wspomaganie komputerowego nie zapewnia otrzymania wysokoefektywnych projektów. Co prawda, współczesne systemy wspomaganie prac projektowych, opierają się na klasycznych metodach, jednak zastosowanie w nich wysokowydajnych komputerów pozwala z dużą precyzją przewidzieć rzeczywiste funkcjonowanie analizowanych systemów. Do wykorzystania wcześniejszych narzędzi zniechęcał wsadowy charakter przetwarzania, jak również ograniczona dostępność niezbędnych do tego jednostek komputerowych. W ostatnim dziesięcioleciu, ewolucja metod i narzędzi modelowania komputerowego ukierunkowana była, przede wszystkim, na uproszczenie komunikacji pomiędzy człowiekiem, a komputerem. Ukoronowaniem starań informatyków było przygotowanie i szerokie wdrożenie metod interakcyjnego projektowania graficznego. W metodach tych, wirtualny projekt tworzony jest na ekranie komputera w postaci schematu strukturalnego, składającego się z powiązanych pomiędzy sobą elementów, pobieranych z biblioteki lub tworzonych samodzielnie przez użytkownika, wirtualnie połączonych pomiędzy sobą [7], [8], [9]. Przykładem wykorzystania takiego rozwiązania jest opisane w niniejszym rozdziale zastosowanie pakietu Matlab/Simulink.

W rozdziale poddano analizie zastosowanie metod automatyzacji projektowania do określenia optymalnych trybów pracy newralgicznych elementów każdego SDW, którymi są agregaty pompowe. Z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych dokonano analizy działania zestawu pomp ujęcia wody i jej dystrybucji. Założono, że podstawowymi celami procesu optymalizacji będą: stabilizacja parametrów dostawy wody, minimalizacja zużycia energii niezbędnej w procesie technologicznym oraz maksymalizacja żywotności agregatów pompowych. Do sterowania pompami ujęcia wody opracowano i zweryfikowano algorytm minimalizujący liczbę cykli pracy pomp, co dzięki ograniczeniu rozruchów agregatów poprawia niezawodność SDW. Ponadto, układ symulacji szacuje czas pracy i wydajność agregatów, co pozwala określić koszty zużytej energii.

Pakiet Matlab/Simulink został wykorzystany również do modelowania rozwiązań zapewniających stabilizację ciśnienia w rurociągu. Przeprowadzone badania pokazały, że z uwagi na rozgałęzioną strukturę większości rurociągów, precyzyjna stabilizacja ciśnienia we wszystkich punktach sieci w oparciu o jednopoziomową strukturę pomp jest niemożliwa. Dlatego, stabilizacja bazuje na pomiarach w węzłach krytycznych sieci. Podobnie jak poprzednio, opracowano algorytm sterujący zestawem pomp, zapewniający stabilizację ciśnienia, minimalizację zużycia

energii oraz maksymalizację żywotności. Jeżeli stabilizacja w punktach krytycznych jest niewystarczająca, należy zastosować wielopoziomową, hierarchiczną strukturę pomp z zsynchronizowanym zarządzaniem każdego z poziomów. Do badania takiej architektury można również wykorzystać pakiet Matlab/Symulink.

Bibliografia

- [1] B. Budziło, Niezawodność wybranych systemów zaopatrzenia w wodę w południowej Polsce, Kraków: Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2010.
- [2] I. Zimoch, Zintegrowana metoda analizy niezawodności funkcjonowania i bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2011.
- [3] J. Rak, B. Tchórzewska-Cieślak i J. Studziński, Bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę, Warszawa: Polska Akademia Nauk. Instytut Badań Systemowych, 2013.
- [4] J. R. Rak i B. Tchórzewska-Cieślak, Ryzyko w eksploatacji systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę, Warszawa: Seidel-Przywecki, 2013.
- [5] K. Duzinkiewicz, Zintegrowane sterowanie systemami zaopatrzenia w wodę pitną, Kraków: Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 2005.
- [6] M. Kwietniewski, W. Olszewski i E. Osuch-Pajdzińska, Projektowanie elementów systemu zaopatrzenia w wodę, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2009.
- [7] А. Руппель, М. Сагандыков і А. Корытов, Моделирование гидравлических систем в MATLAB, Омск: СибАДИ, 2009.
- [8] Л. Васильев, А. Симак і В. Рыбникова, Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде MATLAB/Simulink, Київ: Національна академія наук України, 2008.
- [9] Z. Suligowski i S. Fudala-Książek, Zaopatrzenie w wodę, Józefosław: Seidel-Przywecki, 2014.
- [10] MathWorks, „Getting Started with MATLAB,” MathWorks, 2014.
- [11] B. Mrozek i Z. Mrozek, MATLAB i Simulink : poradnik użytkownika, Gliwice: Helion, 2010.
- [12] A. Celmerowski, Modelowanie i symulacja układów fizycznych Matlab/Simulink, Białystok: Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, 2008.
- [13] Б. Лезнов, Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуховодных установках., Москва: Энергоатомиздат, 2006.
- [14] R. Pratap, MATLAB 7 dla naukowców i inżynierów, Warszawa: PWN, 2013.

ROZDZIAŁ 6

Metodyka i metodologia budowy regionalnej infrastruktury informacyjnej

Roman KOROSTENSKYI, Piotr HAJDER

♦ *Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie,*

♣ *Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Korostenskyi@gmail.com, Piotr.Hajder@gmail.com

Streszczenie

Tematem rozdziału jest analiza metodyki i metodologii budowy regionalnych systemów informacyjnych. Praca rozpoczyna się od określenia wzajemnych relacji pomiędzy krajowym i regionalnymi systemami informacyjnymi. Następnie, sklasyfikowano zadania stojące przed systemami tej klasy oraz przedstawiono trzy alternatywne scenariusze ich budowy i wdrożenia. Dalej, omówiono architekturę funkcjonalną systemów oraz koszty poszczególnych etapów ich cyklu życia. Rozdział jest adresowany do osób zajmujących się wdrażaniem systemów informacyjnych w jednostkach samorządu terytorialnego.

1. Wprowadzenie

Kluczowym zadaniem stojącym przed administracją publiczną wszelkich szczebli jest zapewnienie stabilnego rozwoju kraju, w szczególności, w obszarach: socjalnym i ekonomicznym. Istotnym czynnikiem wpływającym na taki rozwój jest dostępność, jakość oraz poziom wykorzystania infrastruktury informacyjnej. Dotychczasowe badania w tym obszarze, skoncentrowano na problemach projektowania, budowy oraz eksploatacji infrastruktury o zasięgu ogólnokrajowym. Zgodnie z definicją, *Infrastruktura Informacyjna Państwa (IIP)* to zestaw norm, zasobów, procesów oraz systemów informacyjnych, warunkujących sprawne funkcjonowanie społeczeństwa, gospodarki i kraju oraz innych zasobów, procesów i systemów informacyjnych [1]. Z punktu widzenia teorii systemów IIP to hierarchia wielowarstwowa [2], której najwyższym poziomem są dokumenty normatywne, najniższym zaś systemy obsługi zadań publicznych.

Chociaż zasoby IIP są szeroko wykorzystywane przez samorządy, w obszarze zainteresowań tych ostatnich leżą głównie *Regionalne Infrastruktury Informacyjne (RII)*, których zasięg działania jest ograniczony do gminy, powiatu lub województwa, a gromadzone i udostępniane przez nie informacje są adresowane spe-

cialnie do odbiorców z tych obszarów. Przy budowie RII obowiązuje zasada pragmatyzmu informacyjnego, zgodnie z którą infrastruktura powinna uwzględniać: poziom rozwoju gospodarczego regionu; dostępne w nim technologie informacyjne; zasoby wiedzy społeczności lokalnej oraz poziom kultury informacyjnej i informatycznej mieszkańców. RII charakteryzują ściśle powiązania z innymi składnikami infrastruktury regionalnej, również jej wpływ na funkcjonowanie regionu jest wielokrotnie większy niż infrastruktury krajowej.

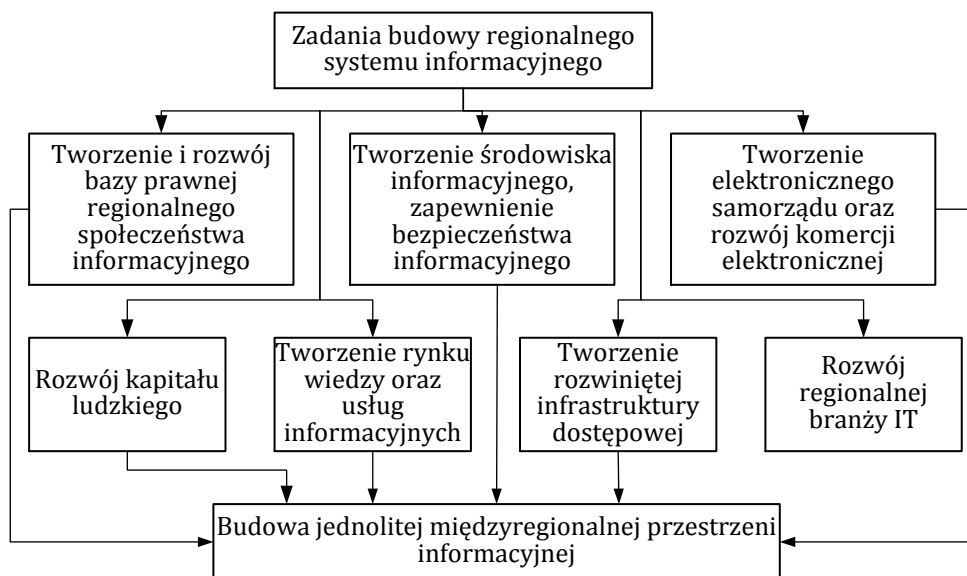
Pierwszoplanowym zadaniem badań, poświęconych budowie RII powinno być określenie społeczno-gospodarczej zawartości regionalnej infrastruktury informacyjnej, poprzez uszczegółowienie pojęcia kapitału infrastrukturalnego, będącego zbiorem relacji pomiędzy podmiotami w obszarze jego budowy i wykorzystania. Przemiany, które nastąpiły po 1989 roku, spowodowały rezygnację Państwa z aktywnego udziału w rynku telekomunikacyjnym, który ograniczył się do funkcji regulatora. W rezultacie, podmiotami kapitału infrastrukturalnego są: prywatne firmy informatyczne i telekomunikacyjne, mieszkańcy, będący odbiorcami usług oraz, w ograniczonym stopniu, Państwo. Budowa, a następnie eksploatacja RII powinna każdemu z podmiotów przynosić korzyści o charakterze społeczno-gospodarczym.

Opisywane dalej badania dotyczą metodycznych i metodologicznych aspektów budowy regionalnej infrastruktury informacyjnej. Pojęciem *infrastruktury* będziemy określać RII, obejmującą swym zasięgiem co najwyżej województwo. *Integralnością informacyjną regionu*, nazywać będziemy właściwość RII, zapewniającą równomierny dostęp do spójnych zasobów informacyjnych wszystkich zainteresowanych podmiotów regionu.

2. Budowa regionalnej infrastruktury informacyjnej

Budowa regionalnej infrastruktury informacyjnej powinna być uporządkowanym procesem, złożonym z szeregu wzajemnie powiązanych etapów, opisanych za pomocą stosownej strategii. Strategia budowy RII powinna uwzględniać plany zawarte w narodowych i regionalnych strategiach rozwoju informatyki. Najważniejsze zadania budowy RII sklasyfikowano na rys. 1.

W większości przypadków, bazy prawne określające społeczeństwo informacyjne dla infrastruktury państwowej i regionalnej są tożsame. Zauważalne różnice pojawiają się w miejscach, gdzie wykorzystywane są akty prawa miejscowego, definiowane na poziomie województwa, powiatu, gminy lub ich związków. Bazę prawną będą tworzyć również porozumienia dotyczące realizacji zadań publicznych o charakterze ponadregionalnym, zawarte pomiędzy jednostkami samorządu terytorialnego lub między jednostkami samorządu terytorialnego a organami administracji rządowej, a także inne akty prawne, informacje, komunikaty, obwieszczenia i ogłoszenia, w szczególności dotyczące świadczenia usług komunalnych podmiotom funkcjonującym na danym obszarze.



Rys. 1. Podstawowe zadania budowy regionalnej infrastruktury informacyjnej oraz ich wzajemne powiązania

Innym, kluczowym problemem rozwiązywanym na etapie projektowania RII jest określenie jej relacji z infrastrukturą informacyjną Państwa. Rozwiązanie powyższego problemu może być oparte na trzech alternatywnych scenariuszach. Pierwszy z nich, zakłada wysoką programową, informacyjną oraz sprzętową niezależność obu infrastruktur. W rezultacie, powiązania pomiędzy nimi są minimalne, co sprzyja efektywnemu wdrożeniu infrastruktury regionalnej, bez względu na funkcjonalność infrastruktury krajowej. Za wykorzystaniem takiego podejścia, przemawiają istotne błędy popełnione w latach 90-tych w procesie budowy IIP. Były one konsekwencją prawnej, organizacyjnej, informacyjnej oraz informacyjnej autonomizacji zasobów i systemów tworzących IIP. W efekcie, wzajemne współdziałanie komponentów IIP jest do dzisiaj utrudnione. W szczególności, w wyniku wysokiej nadmiarowości ma miejsce dezintegracja informacyjna, skutkująca niemożnością wymiany zasobów danych pomiędzy składnikami infrastruktury, a świadczenie usług informacyjnych na zewnątrz (przykładowo, na rzecz RII) jest utrudnione, czasami wręcz niemożliwe. Tak więc, autonomizacja RII względem IIP, z jednej strony, zapewnia możliwość nieskrępowanego tworzenia infrastruktury regionalnej w oderwaniu od niedoróbek IIP, z drugiej jednak, implikuje niepotrzebne dublowanie w niej szeregu zasobów informacyjnych oraz sprzętowych.

Drugi scenariusz, zakłada budowę infrastruktury regionalnej, w postaci zbioru dodatkowych poziomów. Zaletą takiego rozwiązania jest minimalizacja wszelkiej nadmiarowości w informacyjnej infrastrukturze Państwa. Z drugiej jednak strony,

znane niedoskonałości IIP, mogą prowadzić do budowy nieefektywnego, a nawet niesprawnego eksploatacyjnie rozwiązania.

W odróżnieniu od powyższych scenariuszy, proponuje się alternatywne podejście, uwzględniające regionalny charakter infrastruktury, które opiera się na następujących kluczowych założeniach: **a.** interoperacyjności systemów teleinformatycznych, zastosowaniu wspólnej infrastruktury organizacyjno-technicznej, badawczej, projektowej oraz edukacyjnej; **b.** szerokim współdzieleniu informacji, eliminującym wszelkie typy nadmiarowości oraz upraszczającym aktualizację gromadzonych zasobów informacyjnych; **c.** maksymalnym wykorzystaniu komercyjnej infrastruktury dostępowej do kontaktu z użytkownikami.

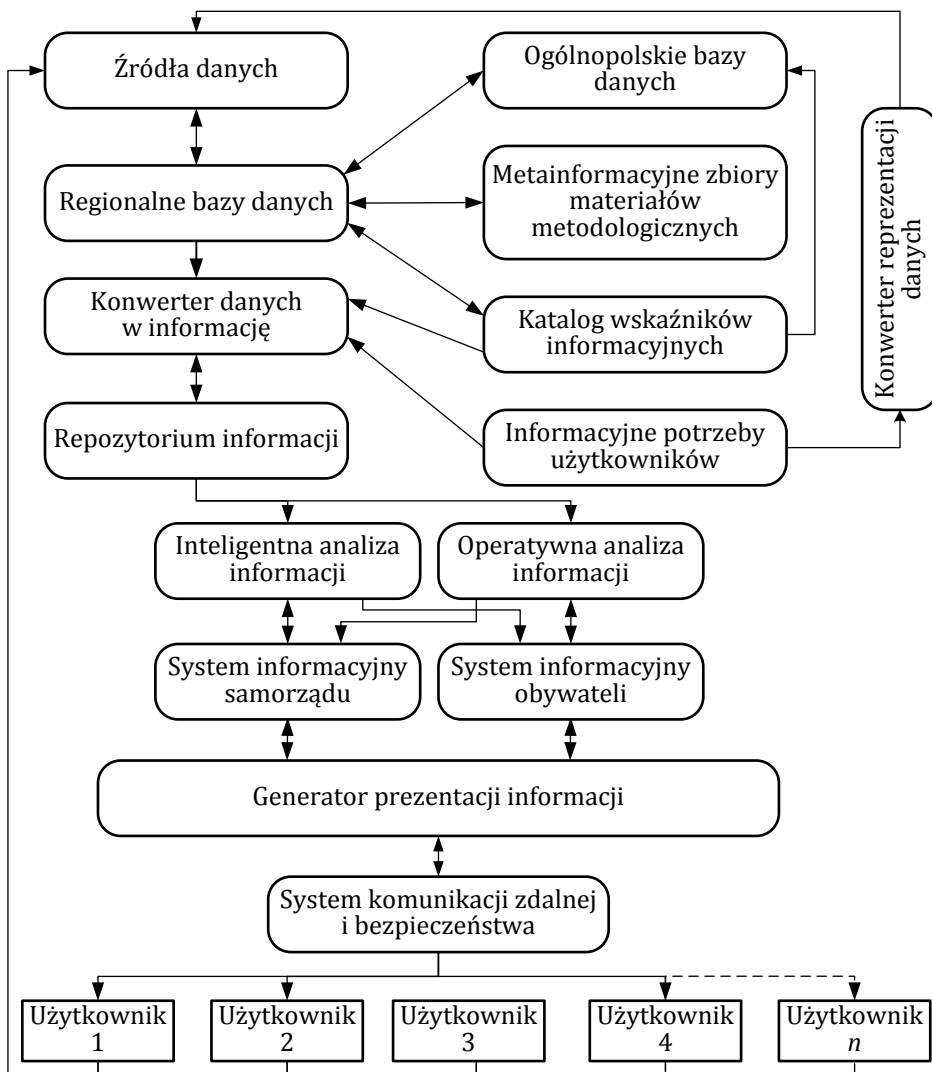
Bez względu na zastosowany scenariusz budowy, infrastruktura regionalna powinna być zintegrowana informacyjnie z infrastrukturą krajową, tj. system złożony z obu typów infrastruktur powinien być transparentny informacyjnie. Jednak ich integracja nie powinna być posunięta zbyt daleko. Przykładowo, w popularnym obecnie modelu obliczeń w chmurze ma miejsce centralizacja przechowywania zasobów informacyjnych, zapewniająca ich mobilność. W przypadku infrastruktur informacyjnych, centralizacja powinna być stosowana w przemyślanym zakresie, w szczególności komponenty systemu posiadające charakter regionalny, powinny jawnie występować w architekturze RII.

Strategia budowy RII nie powinna ograniczać się do realizacji infrastruktury zapewniającej dostęp mieszkańców regionu do zasobów informacyjnych gromadzonych i przetwarzanych przez samorządy. Równie istotnym jest tworzenie komercji elektronicznej oraz rozwój regionalnej branży IT. W przeciwnym przypadku, obserwowana przez ostatnie dziesięciolecie tendencja migracji absolwentów wysokotechnologicznych kierunków studiów będzie się nasilać.

Funkcjonalna architektura regionalnej infrastruktury informacyjnej została przedstawiona na rys. 2. Z punktu widzenia efektywności wykorzystania RII, za kluczowe należy uznać następujące komponenty funkcjonalne:

1. *Regionalne bazy danych*, od spójności i kompletności których zależy rzetelność udzielanych informacji i poprawność podejmowanych decyzji;
2. *Metainformacyjne zbiory materiałów metodologicznych*, określające zasady przetwarzania informacji i podejmowania decyzji. Nieaktualność zbiorów, będzie powodować podejmowanie niepoprawnych decyzji;
3. *System komunikacji zdalnej i bezpieczeństwa*. Ponieważ regionalne systemy informacyjne przetwarzają będą również dane wrażliwe, RII musi zapewniać pełne bezpieczeństwo przesyłania informacji i autentyfikacji użytkowników.

Istotnym zadaniem rozwiązywanym na etapie eksploatacji RII jest permanentne doskonalenie wykorzystania infrastruktury. Wymaga to opracowania i wdrożenia instrumentarium kompleksowej oceny stanu i potencjału rozwojowego infrastruktury wraz z określeniem przyszłych zmian w infrastrukturze, a także mechanizmów organizacji systemów monitoringu społeczno-gospodarczych charakterystyk regionu. Zagadnienia te wychodzą poza ramy niniejszej publikacji.

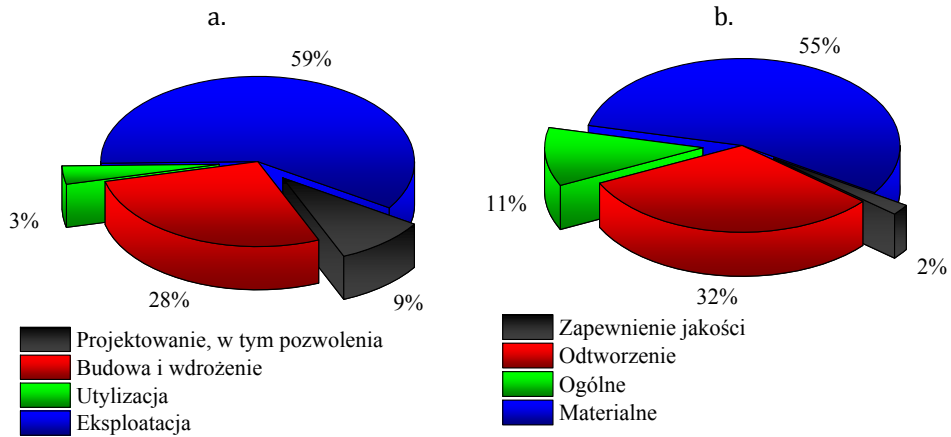


Rys. 2. Architektura funkcjonalna regionalnego systemu informacyjnego

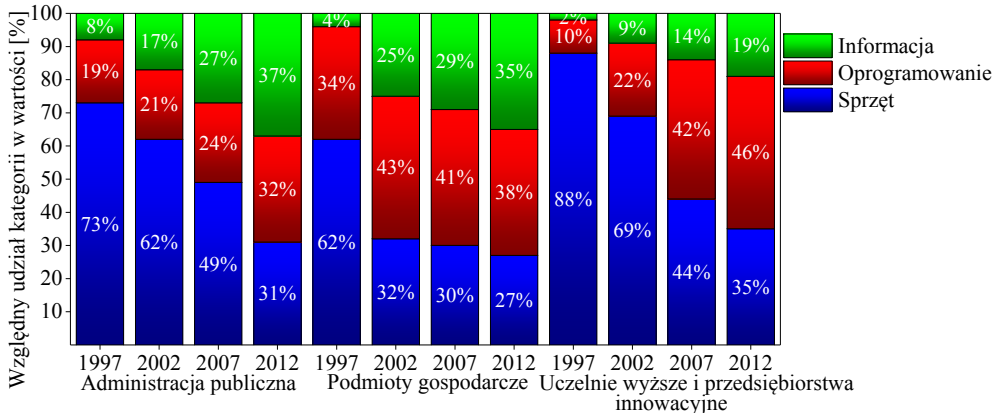
3. Koszty eksploatacji systemów

Obawy samorządów planujących budowę i wdrożenie infrastruktury najczęściej wiążą się z długoterminowymi kosztami jej utrzymania. Z teorii projektowania systemów informacyjnych wiadomo, że każdy etap cyklu życia dowolnego systemu generuje koszty, przy czym koszty te w istotny sposób zależą od rozmiaru systemu, jego funkcjonalności oraz zakresu wykorzystania. Najczęściej analizowanymi etapami cyklu życia są: projektowanie; budowa i wdrożenie, eksploatacja oraz jego utylizacja.

Na rys. 3 zaprezentowano rozkład kosztów pomiędzy poszczególnymi etapami cyklu życia RII i kategoriami wydatków. Z kolei na rys. 4 pokazano wartość poszczególnych komponentów RII, dla różnych typów podmiotów.



Rys. 3. Struktura sumarycznych kosztów funkcjonowania RII: a. Struktura kosztów sumarycznych; b. Rozkład kosztów pomiędzy kategoriami. Źródło: *Badania własne*



Rys. 4. Udział poszczególnych komponentów w wartości infrastruktury informacyjnej. Źródło: *Badania własne*

Bibliografia

- [1] J. Oleński, Infrastruktura informacyjna państwa w globalnej gospodarce, Warszawa: Nowy Dziennik sp. z o.o. i Uniwersytet Warszawski, Wydział Nauk Ekonomicznych, 2006, p. 710.
- [2] C. S. Wasson, System Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.

ROZDZIAŁ 7

Klasyfikacja technologicznych zagrożeń wybranych obszarów Podkarpacia

Mirosław HAJDER*, Beata FLOREK*, Mariusz NYCZ*

*Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie,

†Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza,

Miroslaw.Hajder@gmail.com, BeataFlorek@wp.pl, MNycz@prz.edu.pl

Streszczenie

Prezentowany rozdział przedstawia szczegółową klasyfikację wybranych zagrożeń technologicznych, których wystąpienie jest prawdopodobne na obszarze województwa Podkarpackiego. W kolejnych paragrafach omówiono: zagrożenia promieniotwórczością, środowiskami łatwopalnymi i wybuchowymi, katastrofy obiektów hydrotechnicznych oraz katastrofy ekologiczne. W podsumowaniu, wykorzystując zaproponowaną klasyfikację, uogólniono pojęcie zagrożenia i powiązano go z ryzykiem. Rozdział adresowany jest do osób zajmujących się zarządzaniem kryzysowym.

1. Środowisko naturalne człowieka

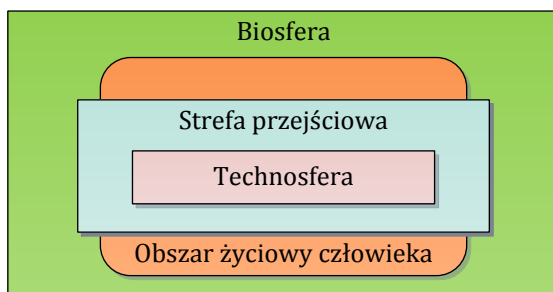
Środowiskiem naturalnym człowieka (ŚNC) nazywamy ogół warunków zewnętrznych (fizycznych, chemicznych, biologicznych i społecznych), które mają bezpośredni lub pośredni, natychmiastowy lub przyszły wpływ na działalność człowieka, jego zdrowie oraz potomstwo. ŚNC to system złożony, w którym człowiek musi rozwiązać dwa podstawowe zadania: **a.** Zaspokoić swoje potrzeby dotyczące pożywienia, wody i powietrza; **b.** Utworzyć i wykorzystać ochronę przed negatywnymi wpływami, zarówno ze strony środowiska, jak i innych ludzi.

Źródłami negatywnych oddziaływań są, przede wszystkim, zjawiska zachodzące w biosferze, w szczególności różnorodne klęski żywiołowe i zagrożenia naturalne, ale również konsekwencje bezpośredniej działalności człowieka. Na przestrzeni wieków nieprzerwana walka o swoje istnienie zmuszała człowieka do

Badania w ramach projektu: „Neuronowe i immunologiczne wspomaganie analizy i syntezy modeli obiektów technicznych na bazie struktur wykorzystujących grafy rzadkie w warunkach niekompletności informacji”. Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu Państwa w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007 – 2013. Inwestujemy w rozwój województwa podkarpackiego.

ciągłego poszukiwania i wdrażania coraz to doskonalszych metod i środków ochrony przed zjawiskami przyrodniczymi, wpływającymi na jego środowisko naturalne. W rezultacie, środowisko to zmieniało swój wygląd, a wraz z nim różnicowały się poziomy i rodzaje zjawisk negatywnych. Powyższym zmianom sprzyjały: **a.** Wysokie tempo wzrostu liczby ludności oraz urbanizacja przestrzeni życiowej; **b.** Wzrost konsumpcji energii i koncentracja zasobów energetycznych; **c.** Intensywny rozwój przemysłu i rolnictwa; **d.** Masowe korzystanie z różnych form transportu; **e.** Wzrost wydatków na cele wojskowe.

Pierwotną przyczyną szeregu negatywnych oddziaływań w przyrodzie i społeczeństwie są czynniki antropogeniczne, które pojawiły się wraz z człowiekiem. Spowodowały one powstanie *sfery technicznej* – sztucznego środowiska, którego prawa i zasady funkcjonowania są dotychczas mało zbadane. Koncepcję interakcji podmiotów ludzkich, biosfery i sfery technicznej przedstawiono na rys. 1. Funkcjonowanie człowieka nie ogranicza się do stworzonej przez niego technosfery, ale obejmuje również samą biosferę i strefę przejściową, zachowującą w różnym stopniu cechy obu środowisk. Wraz z upływem czasu, następuje stopniowe zawężanie obszaru biosfery nieobjętej działalnością człowieka, wraz ze zmniejszaniem się strefy przejściowej.



Rys. 1. Otoczenie człowieka

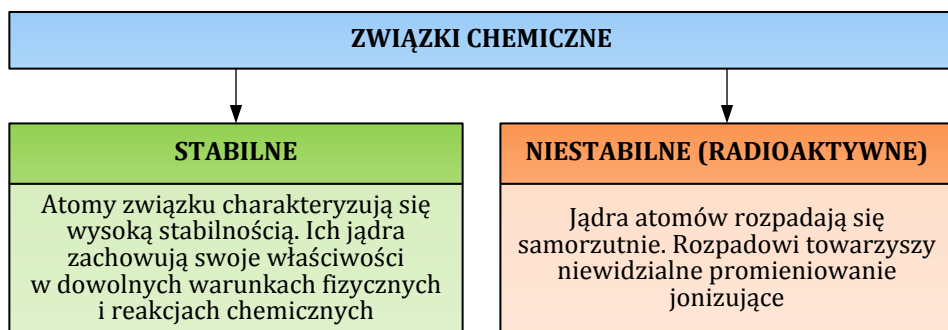
Struktura przedstawiona na rys. 1 jest przykładem systemu złożonego, którego istotnymi elementami są obiekty techniczne. Do jej analizy należy wykorzystać metody i środki teorii systemów złożonych [1], [2], [3].

2. Technologiczne czynniki katastroficzne

Katastrofa technologiczna to rodzaj zdarzeń o masowych skutkach [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Podobnie jak katastrofa naturalna [10], [11] może ona pociągać za sobą masowe zgony, a także katastrofę ekologiczną. W odróżnieniu od ataków terrorystycznych, katastrofy technologiczne mają charakter losowy i są bardzo trudne do przewidzenia. Choć skutki, tego typu katastrof, różnią się od skutków katastrof naturalnych, również w tym przypadku może pojawić się panika, paraliż transportowy, utrata autorytetu władzy [12], [13]. Z prawnego punktu widzenia, katastrofy technologiczne są klasyfikowane jako sytuacje nadzwyczajne.

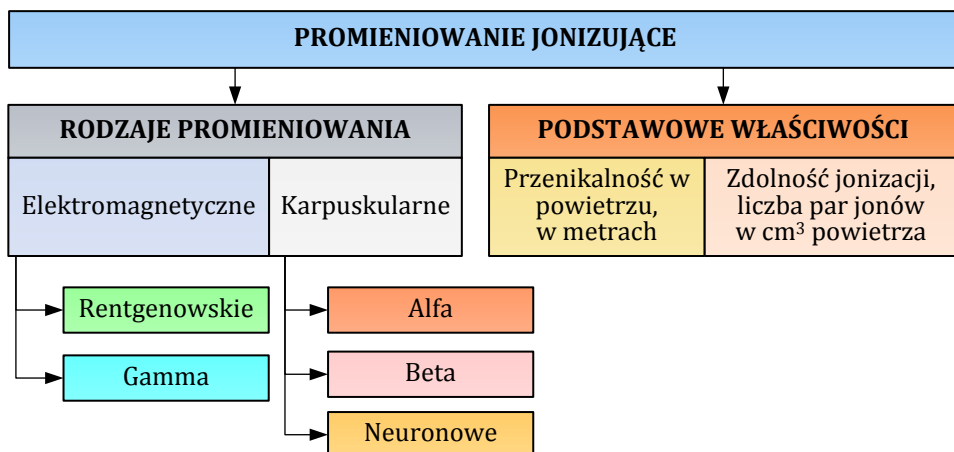
2.1. Awarie na obiektach z materiałami promieniotwórczymi

Materiały promieniotwórcze są występującymi w przyrodzie specyficznymi związkami chemicznymi. Klasyfikacja związków została przedstawiona na rys. 2.



Rys. 2. Klasyfikacja związków chemicznych

Znakomita większość związków jest stabilna i nie stanowi zagrożenia radiacyjnego. W rezultacie radioaktywnego rozpadu niestabilnych związków wydziela się promieniowanie jonizujące, którego energia jest wystarczająca do jonizacji napromienianego środowiska. Szczególnie niebezpieczne jest napromieniowanie tkanek żywych organizmów oraz substancji konsumowanych przez nie. Jonizacja polega na podziale elektrycznie neutralnego atomu na elektron z ładunkiem ujemnym i jon z ładunkiem dodatnim. Nie każde spotykane w przyrodzie promieniowanie posiada odpowiednio wysoką energię, wystarczającą do jonizacji materii. Klasyfikacja i właściwości różnych typów promieniowania jonizującego została przedstawiona na rys. 3.

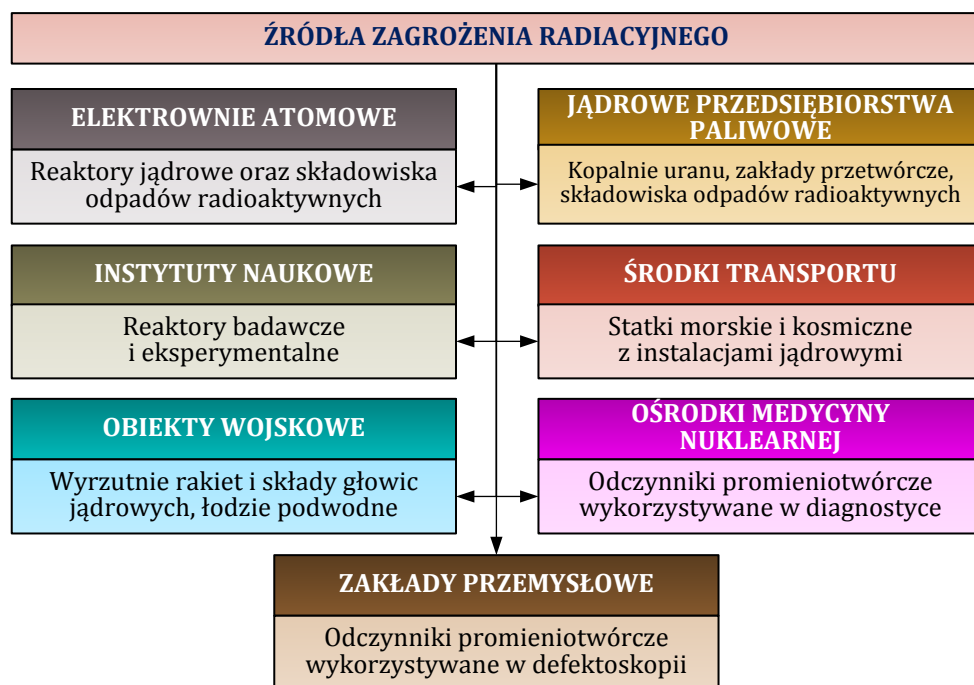


Rys. 3. Rodzaje i właściwości promieniowania jonizującego

Źródła promieniowania jonizującego klasyfikujemy na naturalne i sztuczne. *Naturalnymi* źródłami promieniowania są w pierwszej kolejności naturalne sub-

stancje radioaktywne występujące na powierzchni i w skorupie ziemskiej oraz promieniowanie kosmiczne pochodzące od wybuchów na Słońcu i innych gwiazdach. Śladowe ilości substancji radioaktywnych znajdują się również w atmosferze ziemskiej, wodzie oraz faunie i florze. *Sztucznym* źródłem promieniowania jonizującego są, przede wszystkim, obiekty wykorzystujące energię jądrową (elektrownie atomowe, statki i łodzie podwodne z napędem atomowym, statki kosmiczne). Źródłem stosunkowo niewielkiego promieniowania są także diagnostyka i terapia medyczna oraz defektoskopia. Śladowe promieniowanie wytwarzają również starsze telewizory, monitory komputerowe oraz cyferblaty niektórych zegarków.

Dowolny obiekt wykorzystujący materiały jądrowe nazywany jest *źródłem zagrożenia jądrowego*. Są nim również miejsca przechowywania materiałów radioaktywnych, środki transportu wykorzystywane do ich przemieszczania. Klasyfikacja źródeł zagrożenia radiacyjnego przedstawiona została na rys. 4.



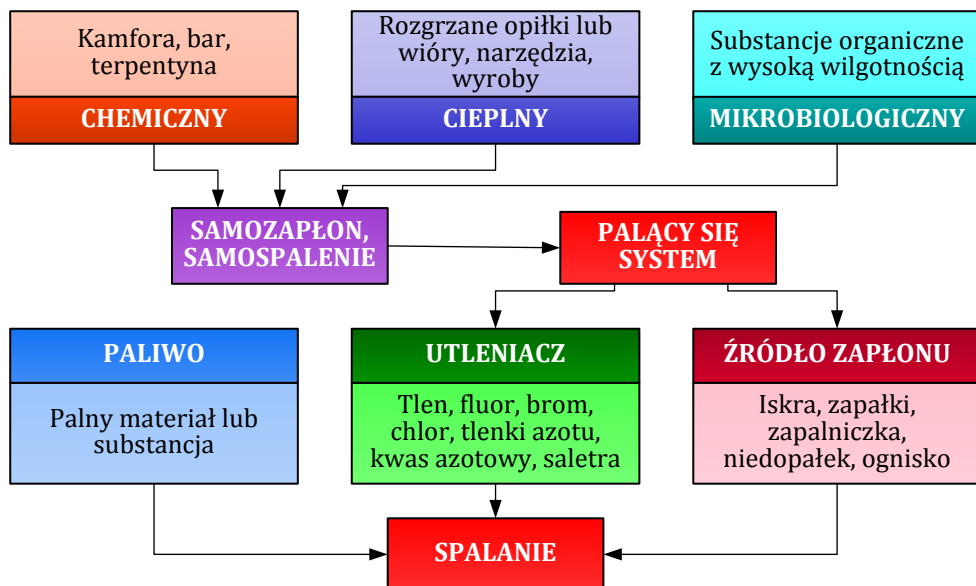
Rys. 4. Źródła zagrożenia radiacyjnego

Nie ulega wątpliwości, że największym zagrożeniem bezpieczeństwa są elektrownie atomowe oraz obiekty związane z przetwarzaniem odpadów radioaktywnych. Jedyne polski reaktor badawczy znajduje się w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w Świerku. Odpady promieniotwórcze gromadzone i przetwarzane są w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych w Świerku oraz Krajowym Składowisku Odpadów Promieniotwórczych w Różanie.

Znaczne ilości substancji radioaktywnych znajdują się także w Ośrodku Radioizotopów, będącym fragmentem NCBJ. Znacznie większe zagrożenie dla mieszkańców Podkarpacia stanowią elektrownie atomowe rozmieszczone w sąsiedztwie naszych granic. Obecnie, w odległości mniejszej niż 1200 km od Rzeszowa funkcjonuje 25 reaktorów różnych typów. W szczególności są to: **a.** 14 reaktorów WWER-440, każdy o mocy 440 MWe: 2 bloki elektrowni Równe (Ukraina), 375 km; 4 bloki elektrowni Paks (Węgry), 588 km; 2 bloki elektrowni Mochovce (Słowacja), 456 km; 2 bloki elektrowni Bohunice (Słowacja), 378 km; 4 bloki elektrowni Dukovany (Czechy), 542 km; **b.** 6 reaktorów WWER-1000, każdy o mocy 1000 MWe: 2 bloki elektrowni Równe (Ukraina), 375 km; 2 bloki elektrowni Chmielnicki (Ukraina), 400 km; 2 bloki elektrowni Temelin (Czechy), 710 km; **c.** 4 reaktory BWR: 1 blok elektrowni Krümmel (RFN) o mocy 1316 MWe, 1183 km; 3 bloki elektrowni Oskarshamn (Szwecja) - o mocach 487, 623 i 1197 MWe, 1093 km; **d.** 1 reaktor RBMK: 1 blok elektrowni Ignalino (Litwa) 1300 MWe, 734 km.

2.2. Pożary w środowiskach łatwopalnych i wybuchowych

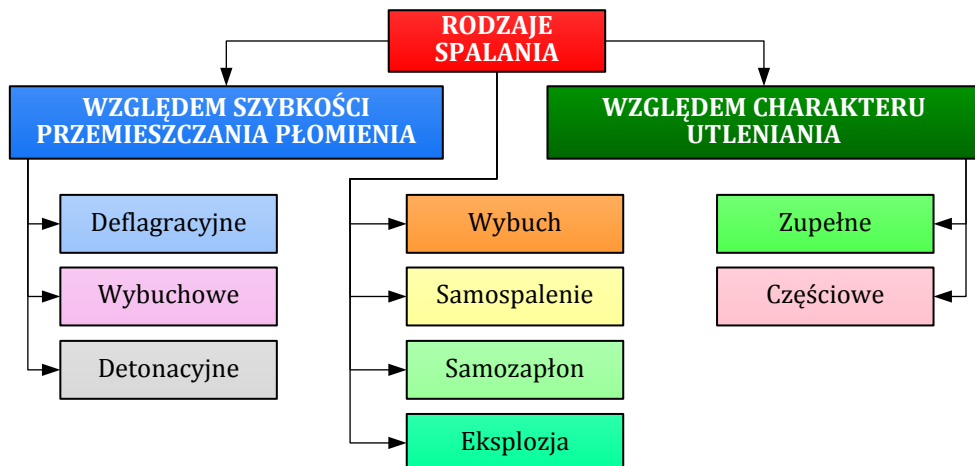
Pożar to proces niekontrolowanego spalania poza przystosowanym do tego celu specjalnym paleniskiem, któremu towarzyszy zniszczenie dóbr materialnych i zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Spalanie to reakcja utleniania, której towarzyszy wydzielanie się znacznych ilości ciepła i światła. Model przebiegu procesu spalania został schematycznie przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Model przebiegu procesu spalania

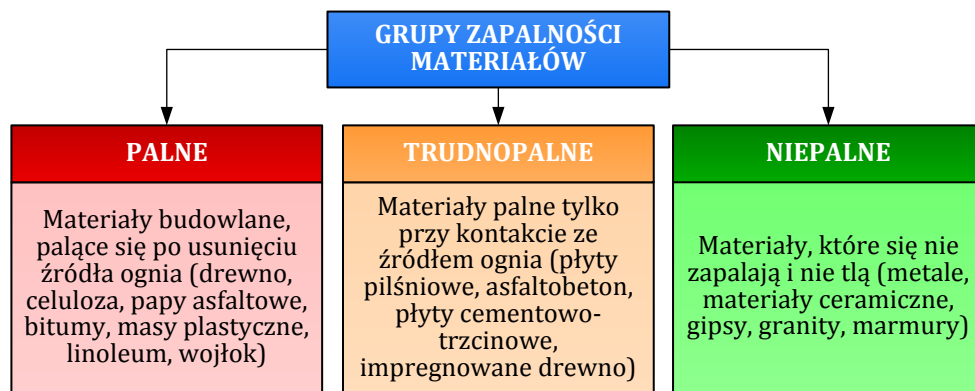
Ze *spalaniem zupełnym* spotykamy się, kiedy zawartość tlenu w powietrzu przekracza 15%. Najważniejszymi produktami spalania są: para wodna, dwutle-

nek węgla i azot. Spalanie częściowe ma miejsce przy zawartości tlenu poniżej 9%. Jego produktami są m.in. tlenek węgla, ketony, aldehydy i alkohole. Klasyfikację rodzajów spalania przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Klasyfikacja rodzajów spalania

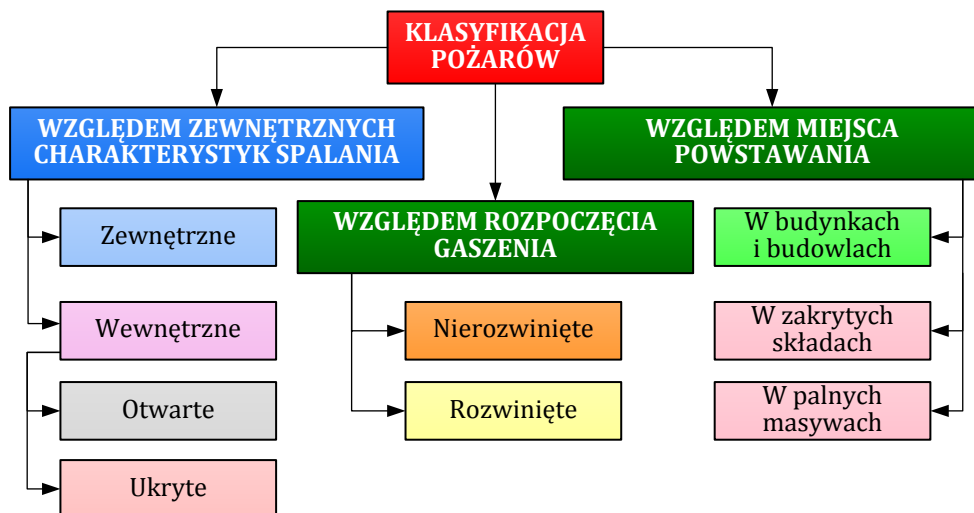
Powstanie i rozwój pożaru zależy głównie od odporności ogniowej spalanych substancji. Na rys. 7 zaprezentowano klasyfikację odporności wybranych materiałów budowlanych.



Rys. 7. Klasyfikacja materiałów względem zapalności

Pożary klasyfikujemy względem: zewnętrznych cech spalania, miejsca powstania i czasu rozpoczęcia działań gaśniczych. Klasyfikacja taka została zaprezentowana na rys. 8.

Jako przykład palnych masywów mogą posłużyć znaczne obszary pokryte roślinnością, takie jak: lasy, pola uprawne, nieużytki. Pożary nierozwinięte gaszone są w zarodku przez pracowników obiektu lub pierwszej przybyłej jednostki gaśniczej. Pożary rozwinięte z uwagi na późne wykrycie lub zgłoszenie do dyspozytora straży obejmują znaczny obszar i nie mogą być gaszone samodzielnie.

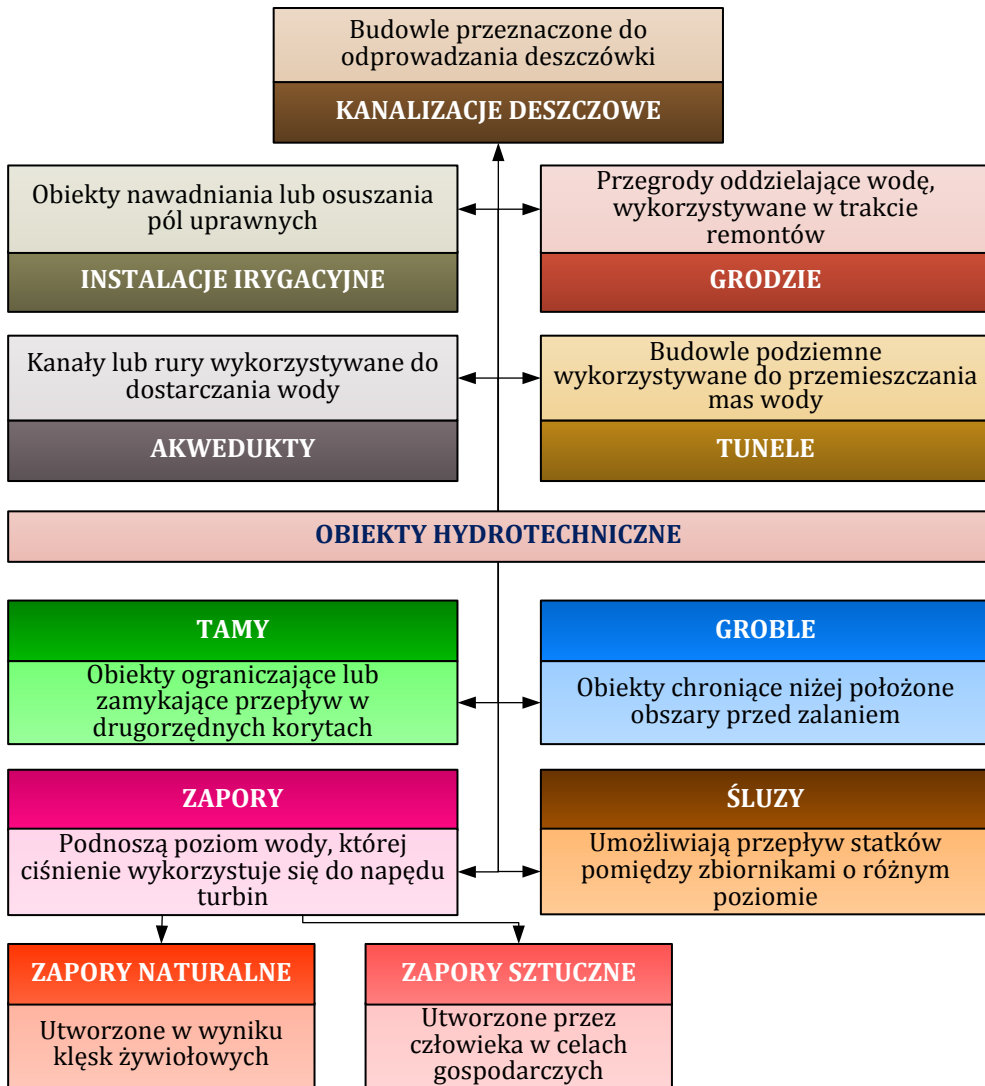


Rys. 8. Klasyfikacja rodzajów spalania

Przyczyny powstawania pożarów dzieli się na trzy podstawowe grupy: antropogeniczne, technologiczne i naturalne. Do *antropogenicznych* zaliczamy m. in.: palenie papierosów w niedozwolonych miejscach, korzystanie z otwartego ognia w miejscach zagrożonych pożarem lub wybuchem, wypalanie ściernisk, łąk i nieużytków, rozpalanie ognisk w niedozwolonych miejscach w okresach wysokiego zagrożenia pożarowego, korzystanie z prowizorycznych urządzeń grzewczych. Najczęstszymi *technologicznymi* przyczynami pożarów są: obecność w pomieszczeniach łatwopalnego kurzu lub włókien, nieszczelności w zbiornikach i urządzeniach zawierających palne ciecze bądź gazy, egzotermiczne reakcje cieplne, nieprzestrzeganie zasad suszenia pasz, naruszenie trybów eksploatacji urządzeń i systemów grzewczych, niepoprawny montaż sieci zasilającej, tarcie w rurociągach przesyłających substancje palne. Do grupy *naturalnych* przyczyn powstawania pożarów zaliczamy, przede wszystkim: elektryczność atmosferyczną oraz klęski żywiołowe.

2.3. Katastrofy obiektów hydrotechnicznych

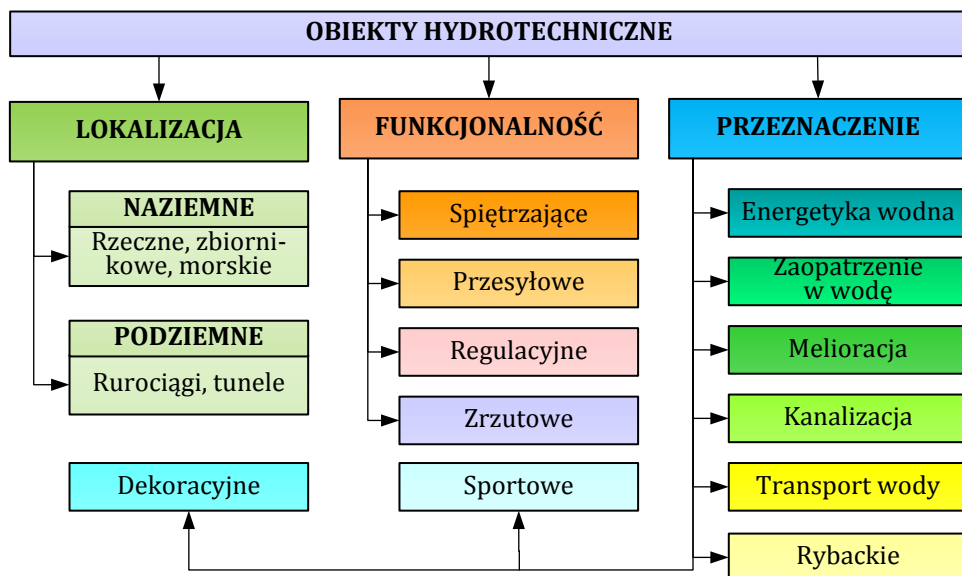
Obiektem niebezpiecznym hydrodynamicznie (ONH) nazywamy budowlę lub naturalne formacje spiętrzające wodę. Poziom lustra wody po obu stronach ONH jest różny i stanowi istotne zagrożenie. Do grupy ONH zaliczamy zapory naturalne oraz wszystkie hydrotechniczne budowle ciśnieniowe. Pojęciem *budowle hydrotechniczne*, określamy wszelkie obiekty przeznaczone do: wykorzystania energii kinetycznej wody, schładzania procesów technologicznych, melioracji i nawadniania, zaopatrzenia w wodę, ochrony przed niszczącą siłą wody itp. Klasyfikację technologiczną budowli hydrotechnicznych zaprezentowano na rys. 9. Na obszarze województwa podkarpackiego, w pierwszej kolejności, spotykamy niewielkie sztuczne zapory o przeznaczeniu ochronnym.



Rys. 9. Technologiczna klasyfikacja obiektów hydrotechnicznych

Klasyfikacje: lokalizacyjna, funkcjonalna i celowa obiektów hydrotechnicznych zostały zaprezentowane na rys. 10.

Przyczyny uszkodzenia bądź zniszczenia obiektów hydrotechnicznych dzielimy na naturalne i antropogeniczne. Najczęstszymi przyczynami *naturalnymi* są: trzęsienia ziemi, tąpnięcia, osunięcia i lawiny ziemne, huragany, intensywne opady, przybór wód, zużycie oraz starzenie się. Do *antropogenicznych* przyczyn uszkodzenia obiektów hydrotechnicznych zaliczamy: działania wojenne, dywersję, nieprzestrzeganie zasad eksploatacji, błędy projektowania i defekty konstrukcyjne.



Rys. 10. Klasyfikacja obiektów hydrotechnicznych

Z punktu widzenia zagrożeń o charakterze katastroficznym, szczególną uwagę należy zwrócić na zbiorniki retencyjne zlokalizowane na Sanie w Solinie oraz Myczkowcach, a także na Wisłoku w Besku. Zbiorniki te położone są w południowej części województwa, w dolnym biegu obu rzek. Ponadto, na terenie Podkarpacia funkcjonuje 30 małych zbiorników retencyjnych o sumarycznej powierzchni 420 ha i pojemności 10 mln m³.

Zapora w Solinie jest największą budowlą hydrotechniczną w Polsce. Posiada ona długość 664 m, wysokość 82 m i kubaturę 760 000 m³. Zapora została zbudowana w latach 1961-68 i zmodernizowana w latach 2000-2003. Tworzy ona Zbiornik Soliński o powierzchni 2200 ha, pojemności 500 mln m³, długości 26,6 km i linii brzegowej o długości 150 km. Zlewnię zbiornika od południa ograniczają góry wododziałowe, rozmieszczone na granicy ze Słowacją, a od wschodu granica Państwa z Ukrainą. *Zapora w Myczkowcach* tworzy dolny zbiornik dla Zespołu Elektrowni Wodnych Solina-Myczkowce. Jej budowę rozpoczęto jeszcze w 1920, ale z powodu braku środków przerwano w 1925 roku. Budowę wznowiono w 1956 i zakończono w 1960 roku. Zapora ma długość 460 metrów, wysokość 17,5 m i kubaturę ichtowego rdzenia 216 tys. m³. Powierzchnia utworzonego zbiornika to 200 ha, a jego pojemność 11 mln m³. *Zbiornik Wodny Besko*, zlokalizowany w miejscowości Sieniawa został oddany do użytku w 1978 roku. Długość betonowej zapory wynosi 174 m, maksymalna wysokość 38 m, powierzchnia zbiornika to 126 ha, a jego pojemność 13 mln m³.

W ostatnich latach, w bezpośrednim sąsiedztwie województwa podkarpackiego miała miejsce katastrofa zbiornika retencyjnego w Rapach Dylańskich. Zbiornik o pojemności 30 tys. m³, w wyniku długotrwałych obfitych opadów został zapeł-

niony 90%. W nocy z 30 na 31 lipca 2011 została rozmyta grobla w miejscowości Rapy. Ze zbiornika wyciekło 6 tys. m³ wody, podtapiając około 100 posesji, w tym 60 domów w Biłgoraju.

Do najbardziej znanych katastrof obiektów hydrotechnicznych na świecie można zaliczyć zdarzenia, które wystąpiły na zaporach Vajont i Malpasset. Pierwsza z nich została zbudowana w latach 1956-61 na rzece Vajont, będącej dopływem Piawy, 100 km na północ od Wenecji. 9 października 1963 r. ze zbocza Monte Toc, na szerokości blisko 3 km, do zbiornika powyżej zapory obsunęło się około 260 mln m³ mieszaniny ziemi i skał. Powstała przy tym fala powodziowa zniszczyła kilka osiedli po przeciwnej stronie zbiornika. Druga fala przedostała się przez koronę zapory i przemieszczając się z szybkością około 100 km na godzinę dokonała spustoszenia w wąskiej dolinie poniżej zapory. Choć sama zaporę nie ucierpiała szczególnie, zbiornik został w znacznej części wypełniony materiałem skalnym i utracił swoje właściwości retencyjne. Zaporę Malpasset, zlokalizowaną w południowo-wschodniej Francji została zbudowana w latach 1952-54. Miała ona wysokość 66 m, długość 222 m, powierzchnia utworzonego przez nią zbiornika wynosiła 2 km² a pojemność 48 mln m³. Zaporę została przerwana 2 grudnia 1959 roku w wyniku obsunięcia się posadowionej na piaskowcach wschodniej części tamy. Przerwanie zapory spowodowało powstanie fali o wysokości 40 m, przemieszczającej się z szybkością 70 km/h wzdłuż koryta rzeki Reyran. W obu opisanych katastrofach ich przyczyną były niedokładnie przeprowadzone badania geologiczne. Zignorowane zostały również, symptomy zagrożeń pojawiające się na kilka dni przed katastrofą.

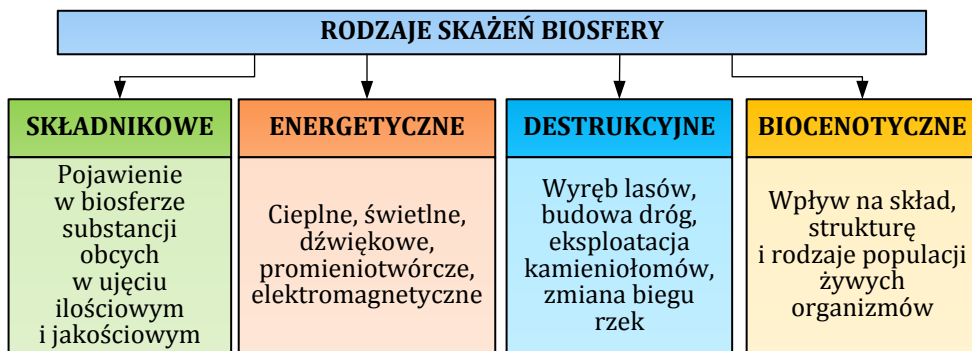
Prawdopodobieństwo uszkodzenia obiektów hydrotechnicznych, zlokalizowanych na obszarze województwa podkarpackiego należy uznać za **minimalne**, zarówno w skutek przyczyn antropogenicznych, jak również naturalnych. Ponieważ ukształtowanie terenu poniżej zapór nie jest typowo wysokogórskie, szacuje się, że zniszczenie każdej z zapór spowodowałoby powstanie fali o wysokości od 3 do 12 metrów, przemieszczającej się z szybkością do 30 km na godzinę.

Przykładem narzędzi informatycznych, wykorzystywanych do modelowania przerwania zapór wodnych jest pakiet programów *MIKE* firmy DHI Water & Environment. Pozwala on m. in modelować: powierzchniowe i denne wymywanie zapory ziemnej; zniszczenie przegrody, śluzy lub sekcji grawitacyjnej zapory; lokalizację obszarów zatapianych; rozptył strumieni wody po uszkodzeniu zapory. Innym przykładem narzędzia wykorzystywanego do analizy dowolnych typów zapór jest *Bentley FlowMaster* firmy Bentley.

2.4. Katastrofy ekologiczne

W wyniku rozwoju przemysłu, transportu, energetyki oraz industrializacji rolnictwa w miejsce biosfery, naturalnego środowiska życia człowieka pojawiła się technosfera. Pojęciem *biosfery* określamy dolną część atmosfery, głębę otaczającą systemy korzeniowe roślin, całą hydrosferę oraz górną część litosfery Ziemi. Biosfera, to część Ziemi zasiedlona przez żywe organizmy. Termin *technosfera* wy-

wodzi się z języka greckiego (*techne* – sztuka, rzemiosło oraz *sphaira* – kula, sfera) i oznacza fragment biosfery, przekształcony za pomocą bezpośredniego i pośredniego wpływu środków technicznych, w celu zapewnienia zgodności ze społeczno-gospodarczymi potrzebami człowieka. Codzienna aktywność ludzka generuje znaczne ilości różnorodnych odpadów naruszających naturalne proporcje pierwiastków w przyrodzie i zanieczyszczających biosferę. Klasyfikację skażeń biosfery przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11. Klasyfikacja skażeń biosfery

Słowo katastrofa pochodzi od greckiego słowa *katastrophe*, oznaczającego obrót lub przewrót. *Katastrofa ekologiczna* to niezbalansowane, niestacjonarne przekształcanie otoczenia, którego konsekwencją jest istotna zmiana środowiska naturalnego.

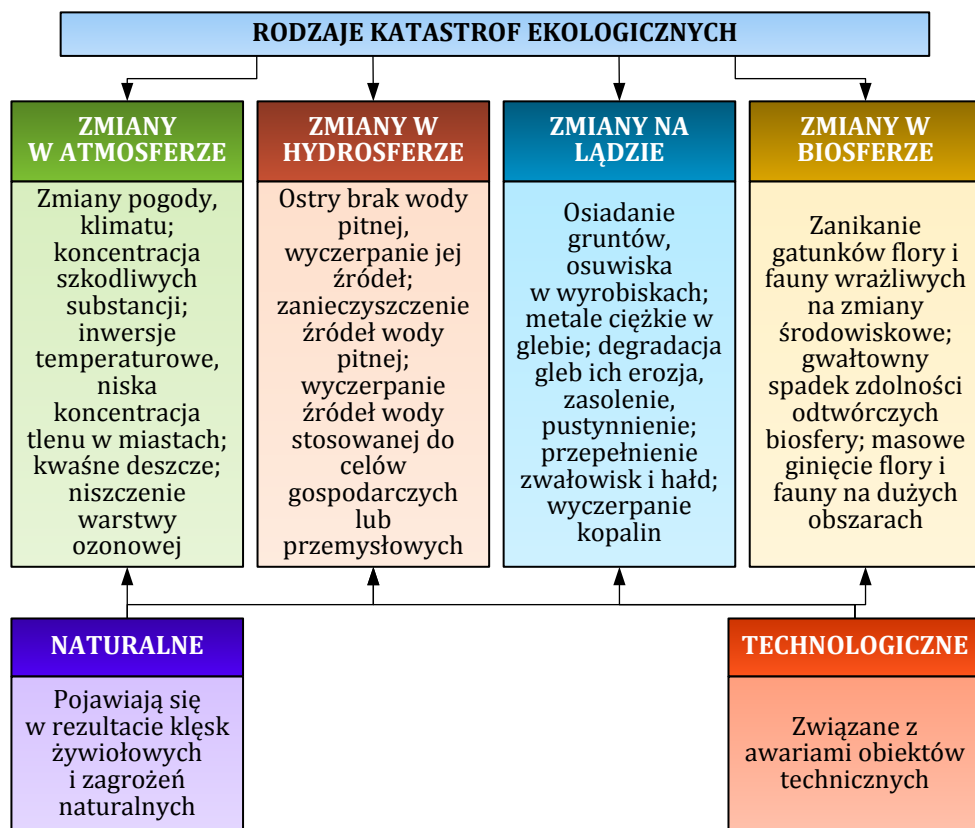
Wiek XX obfitował w katastrofy ekologiczne będące pośrednim skutkiem działalności człowieka. Kilka charakterystycznych przykładów takich katastrof przedstawiono poniżej. 26 kwietnia 1986 roku w wyniku zniszczenia czwartego bloku elektrowni atomowej w Czarnobylu doszło do wybuchu reaktora jądrowego i emisji substancji radioaktywnych do atmosfery, wód powierzchniowych i gruntowych. Ze skażonych radioaktywnie terenów wysiedlono 336 tys. osób. W pierwszych dniach po wypadku zmarło 57 napromieniowanych osób. Spośród 600 tys. pracowników biorących bezpośredni udział w likwidacji skutków awarii, do chwili obecnej na nowotwory zmarło ponad 4 tysiące. Szacuje się, że sumaryczne wydatki na usuwanie skutków awarii, ewakuację ludności oraz odszkodowania wyniosły 200 miliardów dolarów.

24 marca 1989 roku, kapitan tankowca *Exxon Valdez* na krótko opuścił mostek. W rezultacie statek uderzył w rafę i do morza wylało się 10,8 mln galonów ropy (ponad 30 tysięcy metrów sześciennych). Ten wyciek nie był największym pod względem ilości, jednak na ogromne koszty usuwania plamy ropy naftowej miała wpływ odległość miejsca katastrofy od brzegu. Likwidacja skutków katastrofy kosztowała 2,5 miliarda dolarów.

13 listopada 2002 roku, podczas silnego sztormu u wybrzeży Hiszpanii uległ zniszczeniu przewożący 77 000 ton oleju opałowego tankowiec *Prestige*. Pod na-

porem fal, statek przełamał się i zawartość jego ładowni zanieczyściła ocean. Usuwanie skutków tej katastrofy kosztowało około 12 miliardów dolarów.

Klasyfikacja katastrof ekologicznych została przedstawiona na rys. 12.



Rys. 12. Klasyfikacja katastrof ekologicznych

3. Podsumowanie i dalsze prace

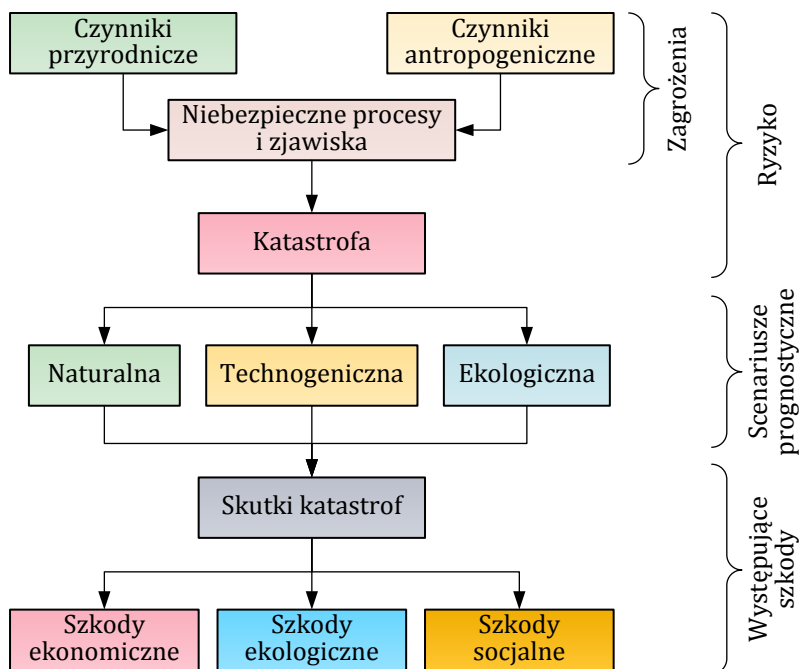
Jednym z celów zaprezentowanych prac klasyfikacyjnych była systematyzacja terminologiczna obszaru badań. Terminami szeroko wykorzystywanymi w procesie analizy zagrożeń są: *niebezpieczeństwo*, *ryzyko* oraz *katastrofa*. Chociaż formalnie terminy *niebezpieczeństwo* i *ryzyko* mają różne znaczenie, często używane są synonimicznie. Z punktu widzenia analizy zjawisk o charakterze katastroficznym, definicja obu tych terminów nie powinna opierać się na klasycznych określeniach, a bazować na metodologicznych podstawach analizy i oceny zachodzących zjawisk.

W klasycznej literaturze, ryzyko to kombinacja prawdopodobieństwa i skutków wystąpienia niekorzystnych zdarzeń. W szerokim znaczeniu, jest ono charakterystyką sytuacji, posiadającej niepewność pojawienia się niekorzystnych skutków.

W wąskim znaczeniu, ryzyko to ilościowa ocena niebezpieczeństw, która jest określana, jako częstotliwość jednego zdarzenia w przypadku wystąpienia innego. Ryzyko to również nieokreślone zdarzenie lub warunek, który w przypadku wystąpienia ma pozytywny lub negatywny wpływ na reputację firmy, prowadzi do zysków lub strat w wyrażeniu pieniężnym.

Zazwyczaj, ryzyko pojawia się jednocześnie z nieprzewidywalnością i niepewnością przyszłości i wyraża się w postaci oczekiwania na zagrożenia i możliwość ich zaistnienia. Podstawą terminu *ryzyko* jest jego antropocentryczny charakter, pojawienie się ryzyka jest możliwe tylko tam, gdzie narażone jest bezpieczeństwo człowieka.

Można przyjąć, że najtrafniejszym określeniem ryzyka jest przedstawienie go jako ilościowej miary zagrożeń, opisanego prawdopodobieństwem zaistnienia niebezpiecznych wpływów z negatywnymi skutkami. Podstawowym celem określania ryzyka jest wykorzystanie go w procesie podejmowania decyzji. Bazując na powyższych założeniach, dokonano klasyfikacji relacji pomiędzy pojęciami: zagrożenie, katastrofa i ryzyko. Zaproponowana klasyfikacja pozwala traktować powyższe kategorie, jako samodzielne, wzajemnie powiązane komponenty jednolitego systemu. Systemowe odwzorowanie tych kategorii pokazano na rys. 13.



Rys. 13. Systemowe odwzorowanie kategorii: zagrożenie, katastrofa, ryzyko

Głównym przedmiotem dalszych badań będą niebezpieczne procesy i zjawiska, w szczególności ich analiza w warunkach nieokreśloności, z wykorzystaniem immunologii i genetyki.

Bibliografia

- [1] K. A. Kobbacy i P. D. Murthy, Redaktorzy, *Complex System Maintenance Handbook*, London: Springer-Verlag London Limited, 2008.
- [2] C. S. Wasson, *System Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices*, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.
- [3] R. B. Northrop, *Introduction to Complexity and Complex Systems*, New York: CRC Press, 2010.
- [4] A. Jarominiak i A. Rosset, *Katastrofy i awarie mostów*, Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1986.
- [5] J. F. Lancaster, *Engineering Catastrophes Causes and Effects of Major Accidents*, III ed., Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [6] D. Morris and E. McGann, *Catastrophe*, Pymble: HarperCollins Publishers, 2009.
- [7] N. Ghafoori, Ed., *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction*, Leiden: CRC Press, 2010.
- [8] C. S. Desai i M. Zaman, *Advanced Geotechnical Engineering. Soil - Structure Interaction Using Computer and Material Models*, Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [9] M. Randolph i S. Gourvenec, *Offshore Geotechnical Engineering*, Abingdon: Spon Press, 2011.
- [10] L. Davis, *Natural Disasters*, II ed., New York: Facts On File, 2009.
- [11] J. Ingleton, Red., *Natural Disaster Management*, Leicester: Tudor Rose, 1999.
- [12] A. M. Gunn, *Encyclopedia of Disasters: Environmental catastrophes and human tragedies*, Westport: GREENWOOD PRESS, 2008.
- [13] M. Żuber, Red., *Katastrofy naturalne i cywilizacyjne*, Wrocław: Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, 2006.

ROZDZIAŁ 8

Analiza struktury dochodów i wydatków gmin województwa podkarpackiego ze szczególnym uwzględnieniem działu: Transport i łączność w latach 2004-2013

Mariola NYCZ[♦], Roman KOROSTENSKYI^{*}

[♦]Politechnika Rzeszowska, *M_Nycz@prz.edu.pl*

^{*}Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie,
Korostenskyi@gmail.com

Streszczenie

Celem poniższej analizy jest wskazanie źródeł dochodów budżetowych oraz struktury i kierunków wydatkowania środków budżetowych przez gminy województwa podkarpackiego ze szczególnym uwzględnieniem wydatków w dziale: Transport i łączność. Zasadnicza część analizy została przedstawiona za pomocą wykresów i tabel. Analizę przeprowadzono w oparciu o dane prezentowane przez GUS (prezentowane dane obejmowały kategorię jednostek terytorialnych: gminy łącznie z miastami na prawach powiatu). Podejście retro-?pektywne dotyczące finansów samorządu terytorialnego w kraju wskazuje na liczne zmiany jakie zaszły w ostatnich latach zarówno pod względem prawodawstwa statuującego podstawy gospodarki jednostek samorządu terytorialnego jak i w zakresie priorytetów w realizowanej polityce budżetowej.

1. Wprowadzenie

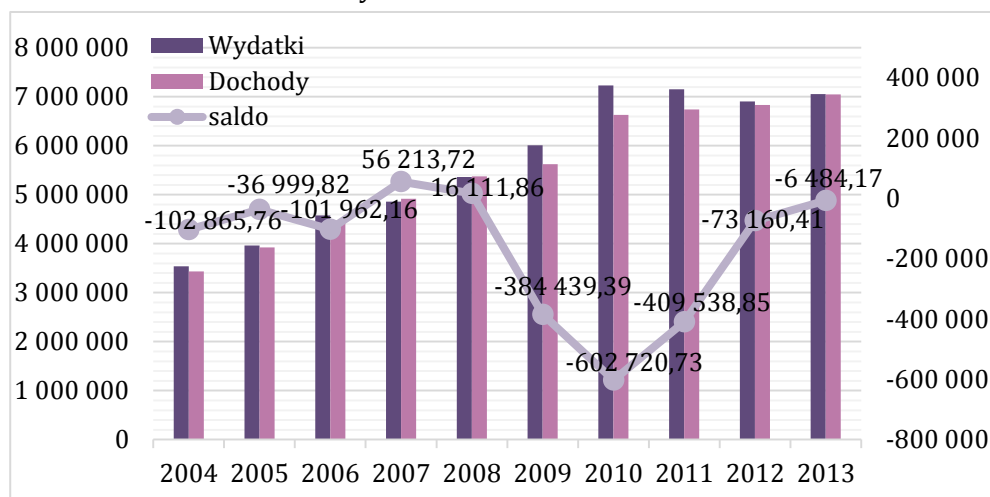
Istotnym celem polityki regionalnej kraju jest zainicjowanie w regionach trwałych procesów rozwojowych, a co za tym idzie przyjęcie długoterminowej strategii. Mimo uzależnienia rozwoju lokalnego od polityki makroekonomicznej i decyzji podejmowanych na szczeblach centralnych to samorząd lokalny jest w dużej mierze kreatorem sytuacji społeczno-ekonomicznej regionu. Jego aktywność w bezpośredni sposób wpływa na poziom jakości życia mieszkańców determinowany głównie przez gospodarkę komunalną, politykę społeczną, ochronę zdrowia czy edukację. Działalność władz wojewódzkich i centralnych jest uzupełniana przez gminy i powiaty także w zakresie inwestycji infrastrukturalnych.

Dla koniunktury gospodarczej regionu pod względem potencjału finansowego i dowolności w określaniu kierunku rozwoju najistotniejszym szczeblem samorządu lokalnego jest gmina. Gmina ma bowiem możliwość podejmowania własnych

inicjatyw, niekoniecznie finansowanych subwencją czy dotacją pochodzącą z budżetu państwa, może także dość swobodnie kreować dochody własne. [1], [2], [3].

2. Dochody budżetu gmin

Ocena polityki budżetowej gmin województwa podkarpackiego oparta została o wybrany zestaw mierników, prezentujących zmiany zachodzące w ciągu ostatnich dziesięciu lat (2004-2013r.). Na rys. 1 zaprezentowano dochody, wydatki wraz z saldem budżetowym.

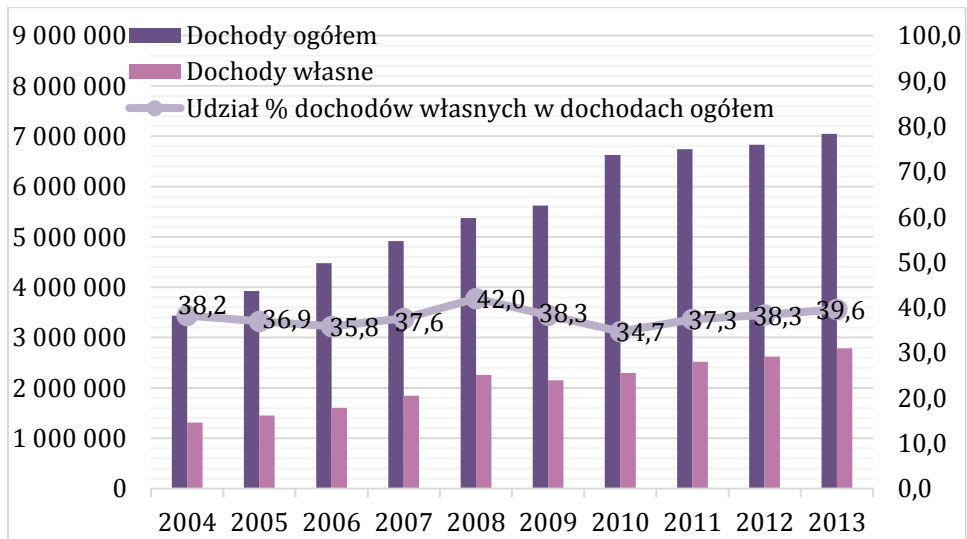


Rys. 1. Wydatki i dochody wraz z saldem budżetowym w latach 2004-2013 dla wszystkich gmin województwa podkarpackiego w tys. zł.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Podkreślić należy, iż w ciągu dziesięciu lat zarówno dochody jak i wydatki wyraźnie wzrosły (gminy systematycznie zwiększają swoje wydatki, ale także rosną ich dochody). Różnica w wielkości wydatków pomiędzy rokiem 2013 a 2008 wyniosła 3 515 971 976 zł co stanowi wzrost o 199%. W przypadku dochodów zanotowano wzrost o 3 612 353 571 zł, w przeliczeniu procentowym wzrost ten kształtuje się na poziomie 205%. Rok 2007 i 2008 był zdecydowanie najlepszym dla budżetów analizowanych jednostek samorządowych, bowiem gminy wypracowały wówczas nadwyżkę dochodów nad wydatkami, oscylującą wokół 1,1% oraz 0,3%. W roku poprzednim (2013) gminy województwa podkarpackie odnotowały niedobór dochodów w stosunku do wydatków w wielkości 6 484 167 zł, zaś podsumowując salda budżetowe z wszystkich objętych analizą lat niedobór ten wynosi 1 645 845 704 zł.

Dla gmin niezmiernie istotnym jest nie tylko wielkość wypracowanego dochodu, ale przede wszystkim ich źródło. Na rys. 2 przedstawiono zmiany w wielkości dochodów własnych w odniesieniu do dochodów ogółem jakie zaszły w ciągu ostatniej dekady.



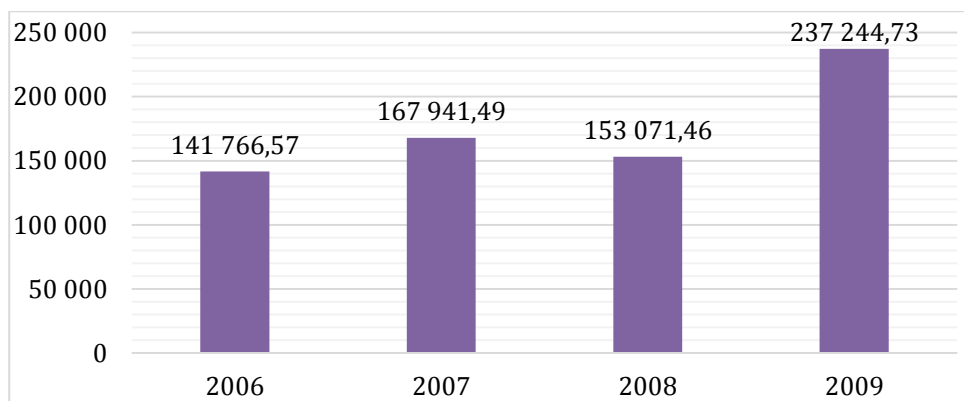
Rys. 2. Dochody ogółem i dochody własne w latach 2004-2013 wyrażone w tys. zł wraz z udziałem procentowych dochodów własnych w dochodach ogółem

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Dochody własne jednostek samorządu terytorialnego będące wpływami z podatków centralnych i lokalnych, dochodami majątkowymi oraz innymi wniesionymi opłatami kształtują się na poziomie od 34,7% (2010 r.) do 42% (w 2008r.) udziału w dochodach ogółem. Wahania te są stosunkowo nieduże, mimo iż w wyniku inicjatywy ustawodawczej odnoszącej się do rosnącej partycypacji gmin w podatkach dochodowych, udział dochodów własnych powinien ulegać zwiększeniu.

Po przystąpieniu do Unii Europejskiej nastąpiły znaczne zmiany w polityce regionów będące skutkiem decyzji wewnętrznych, związanych z dążeniem do efektywnej realizacji działań, w celu osiągnięcia spójności społeczno-gospodarczej między regionami, a zatem eliminowaniu dysproporcji rozwojowych występujących pomiędzy nimi. Do 2004 roku Polska korzystała także z pomocy UE (pomoc przedakcesyjna), zaś przystąpienie do państw Wspólnoty umożliwiło korzystanie ze znacznie większej puli funduszy (oprócz programów krajowych powstały także programy regionalne, m.in. Program Operacyjny Rozwoju Polski Wschodniej).

Miarą wyrażającą aktywność władz gmin jest stopień pozyskania zewnętrznych środków finansowych jakimi są dochody budżetowe gmin w postaci pozyskanych z Unii Europejskiej funduszy. Główny Urząd Statystyczny prezentuje te dane w rozbiciu na dwa okresy od 2006-2009 jako środki pochodzące z budżetu UE i od roku 2010 roku jako środki przeznaczone na finansowanie i współfinansowanie programów i projektów unijnych. Wielkość środków pochodzących z funduszy unijnych w latach 2006-2009 dla województwa podkarpackiego prezentuje rys. 3.



Rys. 3. Dochody- środki z budżetu Unii Europejskiej w latach 2006-2009 w tys. zł.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

W 2009 roku gminy należące do województwa podkarpackiego znalazły się łącznie na szóstym miejscu w kraju ze względu na udział środków pochodzących z Unii Europejskiej w dochodach gmin. Za większość tych środków gminy realizowały szereg inwestycji. Prowadzenie racjonalnej polityki inwestycyjnej wpływa pozytywnie na rozwój gmin i ich funkcjonowanie.

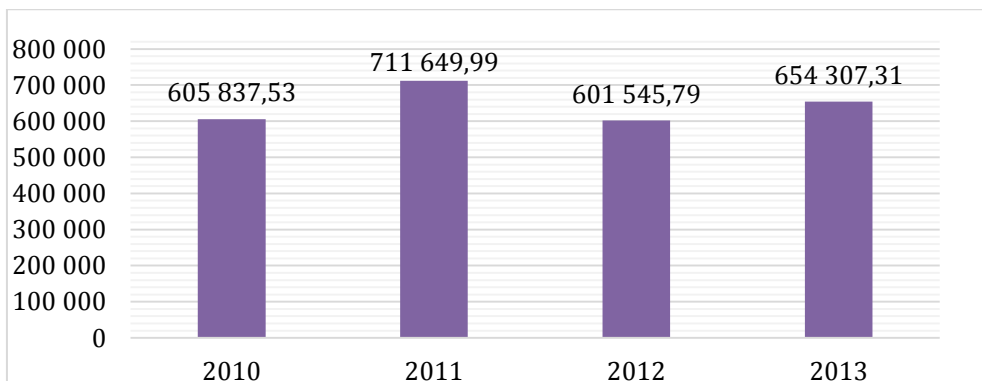
Tabela 1. Środki z budżetu UE w przeliczeniu na 1 mieszkańca i w ujęciu procentowym w dochodach gmin dla województwa podkarpackiego i w skali kraju w latach 2006-2009.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Rok	Udział % środków z budżetu UE w dochodach gmin		Środki z budżetu UE na 1 mieszkańca w zł	
	województwo podkarpackie	w skali kraju	województwo podkarpackie	w skali kraju
2006	3,2	2,4	67,6	58,5
2007	3,4	3,4	80,1	93,6
2008	2,9	2,5	72,9	72,2
2009	4,2	3,3	112,9	100,2

Procentowy udział funduszy unijnych w latach 2006 do 2009 w łącznych dochodach gmin prezentuje tabela 1. Tabela przedstawia jednoznacznie, iż gminy województwa podkarpackiego wykazały się większym udziałem funduszy unijnych w dochodach niż średnia dla całego kraju. Średnia wielkość środków z budżetu Unii Europejskiej przypadająca na 1 mieszkańca w skali województwa w badanym okresie czasu wyniosła 83,4 zł, zaś dla kraju 81,1 zł. Różnica ta jest stosunkowo niewielka.

Na rys. 4 zaprezentowano dochody budżetu gmin w latach 2010-2013 w postaci finansowania i współfinansowania programów i projektów unijnych. Zauważalna jest duża dysproporcja pomiędzy analizowanymi danymi z poszczególnych lat. W roku 2011 pula środków osiągnęła aż 711 649 994 zł, natomiast rok później (2012) była niższa o 110 104 200 zł, co stanowi spadek o 18%.

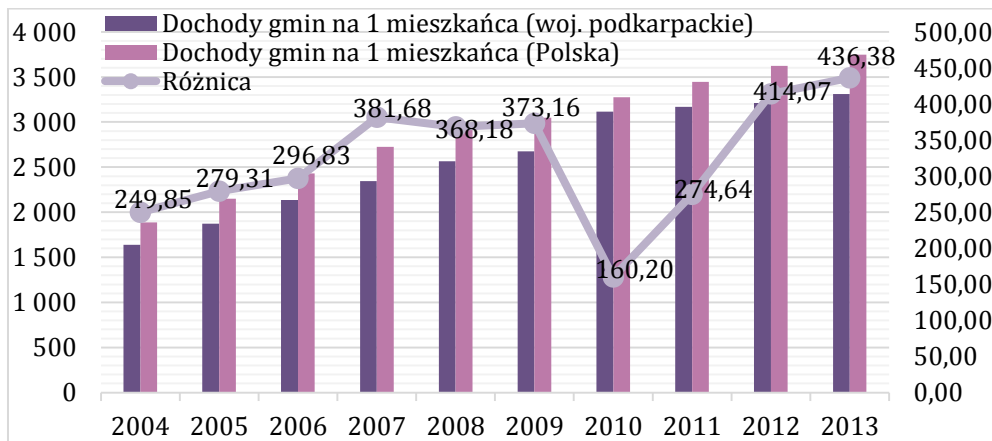


Rys. 4. Dochody - finansowanie i współfinansowanie programów i projektów unijnych w latach 2010-2013 wyrażone w tys. zł.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Wielkość dochodów w przeliczeniu na 1 mieszkańca (przedstawiona na wykresie 5) jest miernikiem określającym kondycję finansową gmin. W odniesieniu do województwa możemy zauważyć stałą tendencję wzrostową tego miernika. Dochody gmin województwa podkarpackiego w przeliczeniu na 1 mieszkańca w 2013 roku w stosunku do roku poprzedniego zwiększyły się o 100,26 zł, co stanowi wzrost 3%.

W 2010 roku różnica pomiędzy dochodami gmin województwa podkarpackiego i gmin w kraju w przeliczeniu na 1 mieszkańca była najniższa i wyniosła 160,2 zł. Z roku na rok dysproporcja ta jednak zaczyna wzrastać, a w 2013 roku wyniosła aż 436,38 zł.

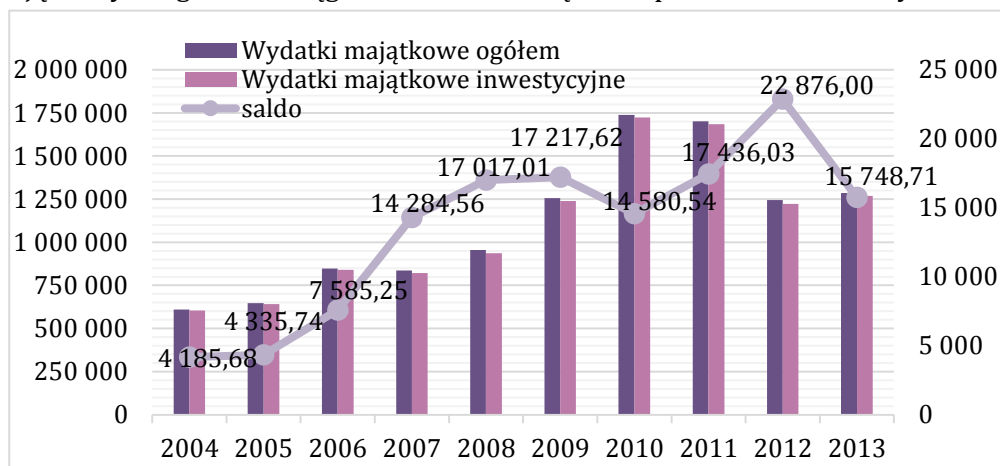


Rys. 5. Dochody ogółem w przeliczeniu na 1 mieszkańca gmin w skali województwa i kraju.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

3. Wydatki budżetu gmin

Wydatki są środkami kierowanymi z budżetu jednostki samorządowej na realizację zadań. Wydatki bieżące wiążą się z bieżącym funkcjonowaniem jednostki samorządowej, zaś wydatki majątkowe są między innymi środkami przeznaczonymi na inwestycję. Udział wydatków majątkowych inwestycyjnych w wydatkach majątkowych ogółem w ciągu ostatnich dziesięciu lat przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Wydatki majątkowe ogółem i inwestycyjne wraz z saldem w latach 2004-2013
wyrażone w tys. zł

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Wydatki majątkowe ogółem w dużej mierze pokrywają się z wydatkami majątkowymi inwestycyjnymi, bowiem jedynie niewielka część środków ogółem przeznaczana jest na wydatki bieżące. W roku 2012 saldo pomiędzy wydatkami majątkowymi ogółem a wydatkami majątkowymi inwestycyjnymi było najwyższe i wyniosło 22 876 000 zł, natomiast najmniejszą różnicą charakteryzował się rok 2004, w którym wydatki majątkowe inwestycyjne stanowiły 99,3% wydatków majątkowych ogółem.

Do przeprowadzenia analizy dotyczącej wydatków gmin przyjęto zmienne (wybrane działy) zaprezentowane w tabeli 2, przedstawiono w niej także wielkości wydatków na poszczególne działy w latach 2004-2013. Łatwo jednak zauważyć, iż w poszczególnych latach w pewnym stopniu zmieniała się struktura wydatków na poszczególne działy. Wielkość wydatków wzrasta, bo i taką samą tendencją odznaczają się dochody. W tabeli 2 za pomocą wykresu przebiegu w czasie kolorem czerwonym oznaczono okresy o najwyższych nakładach środków na dany dział.

W analizowanym okresie ponad połowę wydawanych środków przez gminy województwa przeznaczono na zadania z trzech działów: oświaty i wychowania, pomocy społecznej (działania związane z polityką społeczną) oraz gospodarki komunalnej i ochrony środowiska, który w ciągu dziesięciu lat został wyparty przez dział transportu i łączności. Ciągłe wysokimi nakładami charakteryzuje się

dział administracji publicznej, rosnące są także nakłady na zadania związane z kulturą, niepokoić natomiast może wyraźny spadek środków przeznaczanych na ochronę zdrowia.

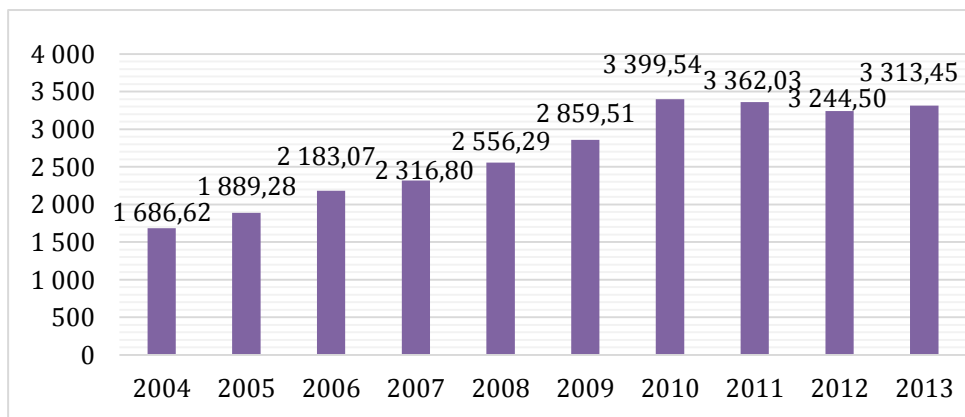
Tabela 2. Kierunki i wielkości wydatkowanych środków przez gminy woj. podkarpackiego w latach 2004-2013 wyrażone w tys. zł.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Kierunki wydatkowania środków	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Rolnictwo i łowiectwo	36514	26927	29548	37491	54531	64722	60836	86399	75485	86120
Transport i łączność	255745	314439	478062	424504	500628	710201	769137	996115	673209	668169
Gospodarka komunalna i ochrona środowiska	289742	298251	324704	354630	376277	492560	715091	561483	447976	577764
Gospodarka mieszkaniowa	51075	65312	85722	100941	121300	140465	149733	180744	202479	193157
Oświata i wychowanie	1645335	1686800	1769633	1869116	2070741	2237540	2457583	2545241	2633441	2660676
Kultura i ochrona dziedzictwa narodowego	100977	114676	140707	177101	184825	192567	236500	238897	237024	247228
Ochrona zdrowia	100977	114676	140707	177101	184825	192567	236500	238897	237024	247228
Pomoc społeczna i pozostałe działania w ramach polityki społecznej	492420	696385	929591	1013868	1023789	1036460	1359120	1182333	b.d	b.d
Wydatki na kulturę fizyczną i sport	66034	86051	108024	108097	165763	187712	238879	b.d	b.d	b.d
Administracja publiczna	343813	367886	390022	421281	470455	502450	527343	554059	586581	608877

Kształtowanie się struktury wydatków gmin w Polsce według działów ulega zmianie wraz ze zmianą kompetencji i zadań przekazywanych władzom samorządowym. Przykładem jest przekazywanie zadań z zakresu wypłat zasiłków i świadczeń rodzinnych, czego efektem są zwiększone wydatki w dziale: Pomoc społeczna. Brak znaczących środków ponoszonych na gospodarkę komunalną wynika z komercjalizacji przedsiębiorstw użyteczności publicznej, co oznacza realizację zadań z zakresu gospodarki komunalnej za pośrednictwem firm zewnętrznych, odrębnych od władz lokalnych.

Na rys. 7 przedstawiono wielkość wydatków ogólnych gmin województwa podkarpackiego w przeliczeniu na 1 mieszkańca.



Rys. 7. Wydatki ogółem w przeliczeniu na 1 mieszkańca gmin w skali województwa podkarpackiego.

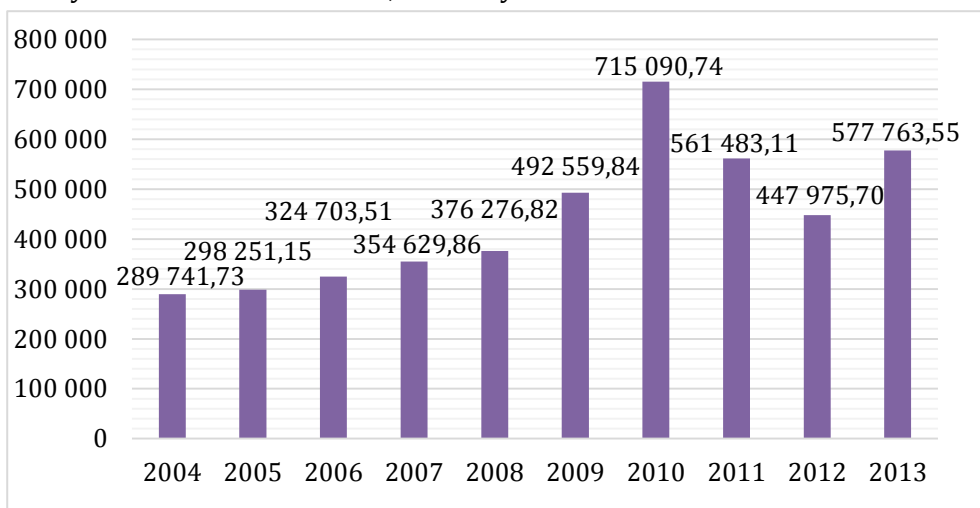
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Wydatki te nie charakteryzują się jednoznaczną tendencją rosnącą. Po roku 2010 widoczna jest wyraźna tendencja w spadku wielkości wydawanych środków

z budżetu gmin województwa podkarpackiego w przeliczeniu na 1 mieszkańca. Spadek ten pomiędzy rokiem 2010 a 2012 wyniósł aż 4,8 %. Jednakże patrząc z perspektywy dziesięciu lat wzrost wydatków samorządów gminnych na 1 mieszkańca jest znaczny i wynosi aż 1 626,83 zł.

4. Wydatki w dziale: Transport i łączność

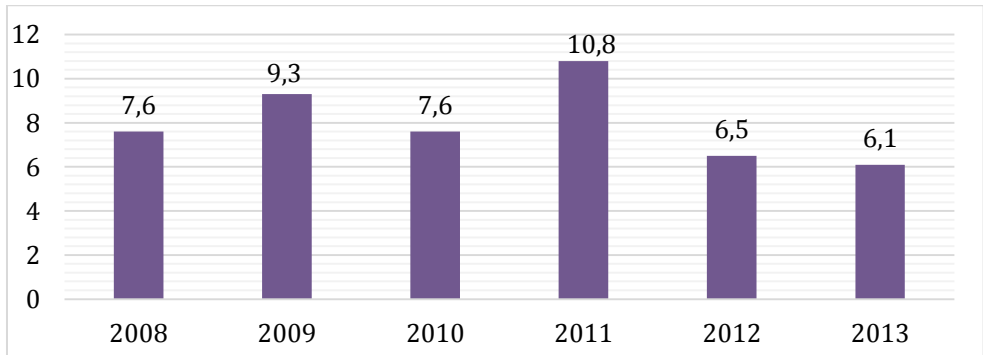
Na rys. 8 przedstawiono wielkość nakładów ponoszonych w jednym z najdroższych działów jakim jest: Transport i łączność. Szczególnie wysokie nakłady w tym dziale charakteryzowały rok 2010 i stanowiły wzrost do roku poprzedniego o 45 %. W ciągu dekady wyraźnie widać zmianę w wielkości wydatkowanych środków na ten dział, która wyniosła aż 288 022 000 zł.



Rys. 8. Wydatki w dziale: Transport i łączność w latach 2004-2013 w tys. zł.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Wysoki udział procentowy wydatków na drogi publiczne w wydatkach ogółem dla gmin utrzymywał się do 2011 roku. W ostatnich latach zauważalny jest spadek tego wskaźnika, co zaprezentowano na rys. 9 (z 10,8 % w 2011 roku do 6,1% w roku 2013).

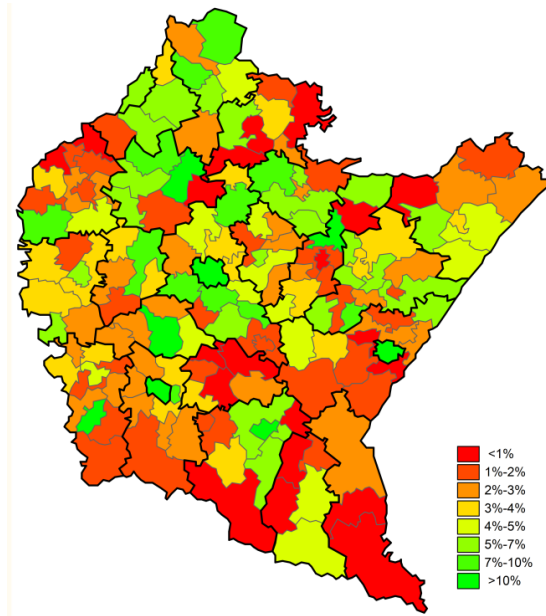
Oczywistym jest, iż większość inwestycji w tym wyremontowanie i wybudowanie nowych dróg nie byłaby zrealizowana bez wsparcia z budżetu Unii Europejskiej. Jednakże należy podkreślić, że nie wszystkie pieniądze unijne skierowane na wsparcie projektów drogowych w Polsce udało się efektywnie wykorzystać. Niektóre problemy będące barierami rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce mogą wynikać z aspektów pozafinansowych.



Rys. 9. Wskaźnik udziału (%) wydatków na drogi publiczne w wydatkach ogółem dla gmin w latach 2008-2013.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

Na rys. 10 przedstawiono odsetek wydatków na drogi w podziale na poszczególne gminy województwa.



Rys. 10. Odsetek wydatków na drogi publiczne(2013r.).

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS

W 2013 roku procentowy udział wydatków na drogi publiczne w wydatkach ogółem gmin kształtował się na poziomie 6,1%. W poszczególnych gminach województwa wielkość tych wydatków kształtowała się na zróżnicowanych poziomach. Największym odsetkiem wydatków na ten dział charakteryzują się gminy północnej i środkowej części województwa. Jedynie około 20 gmin odnotowało większy niż średni dla województwa udział wydatków na drogi publiczne.

5. Podsumowanie

Wydatki publiczne są odzwierciedleniem kierunku i zakresu działalności gmin województwa, a w szerokim ujęciu także państwa, wskazują na zadania realizowane przez państwo. Należy podkreślić, iż umiejętne kierowanie wydatkami publicznymi jest najistotniejszym instrumentem wpływu na makroekonomiczne parametry gospodarki, bowiem od struktury wydatków publicznych jest uzależniony kształt polityki fiskalnej.

Zarówno czasopisma jak i strony internetowe prezentują szereg analiz związanych z pozycjonowaniem gmin w postaci rankingów gmin, np. [5]. Niestety ze względu na różnorodność przyjmowanych przez nich kryteriów i mierników, rankingi te niejednokrotnie są rozbieżne. Koniecznym jest także podkreślenie, że pomiar i badanie efektywności finansów publicznych jest niezwykle trudne.

Na podstawie analizy stwierdzono, że środki finansowe gmin systematycznie się zwiększają również dzięki finansowaniu przedsięwzięć inwestycyjnych z wykorzystaniem środków unijnych, dostępnych poprzez fundusze strukturalne i Regionalne Programy Operacyjne.

Zarówno zakres jak i struktura wydatków publicznych w gminach województwa podkarpackiego jest zbliżona do średniej dla kraju. Biorąc pod uwagę poziom rozwoju gospodarczego województwa, koniecznym staje się zwiększenie wydatków prorozwojowych kosztem wydatków przeznaczanych na realizację polityki społecznej.

Bibliografia

- [1] W. R. Guziejewska B., Wokół efektywności samorządu terytorialnego zagadnienia wybrane, [w:] J. Głuchowski (red), Współczesne finanse. Stan i perspektywy rozwoju finansów publicznych., Toruń: Wyd. Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 2008, s.247-258.
- [2] S. T. Strojny J., Analiza porównawcza gospodarki budżetowej gmin woj. Podkarpackiego w latach 1999-2008, Finansowy kwartalnik internetowy „e-Finance”, 2010, vol.6, nr.2, s.76-87.
- [3] S. A., Zróżnicowanie poziomu rozwoju gmin przygranicznych województwa podkarpackiego, [w:] J.Runge (red.), Granice, Obszary Przygraniczne, Euroregiony, Katowice: Uniwersytet Śląski, 2003, s. 249-262.
- [4] 9.10.2014. www.stat.gov.pl.
- [5] 9.10.2014. http://www.mistia.org.pl/pokaz_strone.php?s=637.

ROZDZIAŁ 9

Spojrzenie krytyczne na wykorzystanie infrastruktury informacyjnej

Mirosław HAJDER, Beata FLOREK

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie

Miroslaw.Hajder@gmail.com, BeataFlorek@wp.pl

Streszczenie

Artykuł poświęcono analizie wykorzystania istniejącej infrastruktury informacyjnej na obszarze województwa Podkarpackiego. W tym celu, określono poziom pokrycia nią obszaru województwa, sklasyfikowano sposoby dostępu do sieci oraz usługi. Dalej, przeanalizowano wykorzystanie infrastruktury informacyjnej przez osoby w wieku senioralnym. Artykuł kończy propozycje poprawy dostępu do infrastruktury informacyjnej, które mogą być wykorzystane przez samorządy Podkarpacia w celu polepszenia poziomu życia mieszkańców.

1. Społeczeństwo i infrastruktura informacyjna

Od momentu swojego powstania, ludzkość znajduje się na drodze hiperbolicznego wzrostu. Jednak oprócz wybuchowego rozwoju samoorganizującego się społeczeństwa, ma miejsce ciągłe wyczerpywanie możliwości jego wzrostu. Ten z pozoru paradoksalny wniosek prowadzi do ustaleń istotnie wpływających na dalszy rozwój gospodarek narodowych, w szczególności europejskich. Jeżeli przyjąć, że wraz ze stabilizacją liczby ludności, dalszy rozwój nie może być już konsekwencją jej zwiększania to prawdopodobne jest przejście do fazy spadku potencjału gospodarczego. Dlatego, wzrost nie powinien być wyłącznie rezultatem ilościowych, ale również i jakościowych zmian charakterystyk społeczeństw. Najbardziej prawdopodobnym scenariuszem jest uczynienie z kapitału ludzkiego sensu i celu rządzenia. Doświadczenia Europy w tym obszarze są nadzwyczaj istotne, bowiem to właśnie ona jako pierwsza przeszła zmianę demograficzną i jej doświadczenie może na wiele lat określać sposoby reorganizacji przestrzeni ekonomicznej, naukowo-technicznej oraz politycznej w innych częściach świata [1], [2].

Jeszcze początkiem lat 60-tych w psychologii zakładano, że nadmiar informacji powoduje zubożenie duszy, a Waclaw Havel zauważał, że *im więcej wiem, tym mniej rozumiem*. Obecnie, wiedza jest podstawą wzrostu efektywności gospodarek i budowy dobrobytu, a dążenie do maksymalnie szerokiego propagowania

wiedzy stało się podstawą budowy i rozwoju społeczeństw informacyjnych, funkcjonujących w oparciu o infrastrukturę informacyjną. Pojęcie *społeczeństwa informacyjnego* (SI), zostało użyte po raz pierwszy w 1963 roku przez japońskiego dziennikarza Tadao Umesao, w celu opisu ewolucyjnej teorii społeczeństwa, opartego na przetwarzaniu informacji [3], [4], [5].

Mimo iż budowa SI trwa w Polsce już blisko 20 lat jego poziom jest daleko niezadowolający [6], [7]. Nadal, znaczna część społeczeństwa nie posiada wystarczającej wiedzy, pozwalającej efektywnie wykorzystywać nawet najprostsze usługi oferowane przez komputer. Powszechnie uważa się, że powodem tego jest niedośkonłość infrastruktury informacyjnej, zapewniającej dostęp do wspomnianych usług. Walce z tym wykluczeniem miały służyć programy budowy infrastruktury, w szczególności na obszarach wiejskich. Z badań autorów wyłania się obraz odmienny od powszechnie znanego, pokazujący iż wykluczenie takie dotyka głównie osoby starsze, bez względu na miejsce zamieszkania.

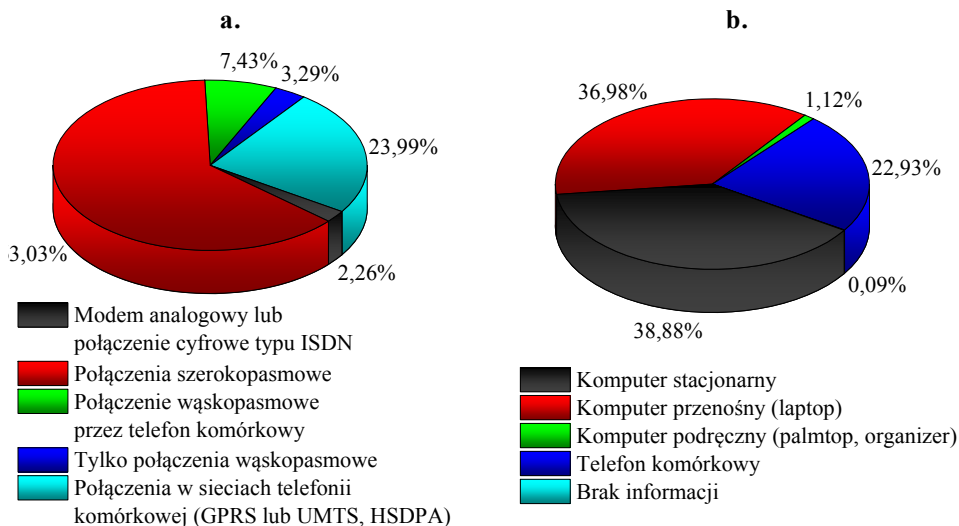
W odróżnieniu od większości dotychczasowych prac [6], [7], [8], badania autorów dotyczą zjawisk zachodzących na poziomie regionalnym, w szczególności na obszarze województwa podkarpackiego.

2. Badanie sposobu dostępu do usług sieciowych

Wbrew pojawiającym się opiniom, na obszarze województwa podkarpackiego poziom infrastruktury dostępowej eliminuje zjawisko wykluczenia cyfrowego. Dostęp do usług sieciowych na akceptowalnym poziomie funkcjonalnym i jakościowym można obecnie uzyskać na obszarze całego województwa. Udostępnianie sieci Internet znajduje się w ofercie praktycznie wszystkich operatorów telekomunikacyjnych. Ewentualne prace nad rozwojem infrastruktury informatycznej, powinny koncentrować się w trzech obszarach. Po pierwsze, na nieznacznej części województwa liczba firm oferujących usługi dostępne jest niewielka, co przekłada się na relatywnie wysokie koszty ich zakupu. Dotyczy to, w głównej mierze, obszarów wiejskich odległych od dużych aglomeracji. Po drugie, dla wybranych lokalizacji, częściowo pokrywających się z poprzednim przypadkiem, asortyment i jakość usług są niezadowolające. Sytuacja taka występuje zazwyczaj na obszarach z niekorzystnym ukształtowaniem terenu oraz niską gęstością zaludnienia. Po trzecie, dostępność a także jakość Internetu socjalnego na obszarze województwa jest dalece niezadowolająca. Wskazaniem jest poszerzenie obszaru jego działania i zapewnienie jakości określonej przez Urząd Komunikacji Elektronicznej. Zdaniem autorów, Internet tego typu powinien być adresowany wyłącznie do osób sporadycznie wykorzystujących usługi sieciowe.

W literaturze, coraz częściej pojawia się teza, zgodnie z którą podstawowym powodem wykluczenia cyfrowego jest brak zainteresowania usługami tego typu. Niedostępność infrastruktury oraz zbyt wysokie koszty są drugorzędnymi przyczynami wykluczenia. Aby potwierdzić słuszność tej tezy, w 2014 roku na obsza-

rze województwa, przeprowadzono badania na grupie blisko 600 gospodarstw domowych, w których dostęp do Internetu jest koniecznością. W tym celu, badania ograniczono do tych, w których co najmniej jedna osoba studiuje na kierunku technicznym. Brak dostępu do sieci zadeklarowało poniżej 6% ankietowanych, przy czym tylko 1% ogółu, wskazywało że wykluczenie spowodowane jest brakiem możliwości technicznych. Na rys. 1 przedstawiono sposoby uzyskiwania dostępu do sieci.



Rys. 1. Dostęp do sieci Internet na obszarze województwa podkarpackiego:
a. Rodzaje wykorzystywanych połączeń internetowych w gospodarstwach domowych;
b. Rodzaj urządzeń używanych do korzystania z Internetu w gospodarstwach domowych (brak informacji – ankietowany nie był w stanie określić typu urządzenia).

Źródło: Badania własne

Przedstawione badania, jak również wyniki prezentowane w innych dostępnych publikacjach [6], [7], sugerują że działania dotyczące infrastruktury informacyjnej, powinny się koncentrować na poprawie jakości oferowanych usług komunikacyjnych, w szczególności na zwiększeniu liczby alternatywnych dostawców na terenach wiejskich oraz poszerzeniu oferty dostępnych przepustowości.

3. Społeczeństwo informacyjne, a wiek senioralny

Podkarpacie jest obszarem, gdzie długość życia, zarówno kobiet jak i mężczyzn, należy do najdłuższych w kraju. Jeżeli uwzględnić wysoką migrację młodych osób z terenu województwa, z czasem może okazać się, że średnia wieku mieszkańców województwa będzie znacznie przekraczać średnią krajową. Z tego właśnie powodu, niezbędna jest aktywizacja osób w wieku senioralnym, do czego doskonałym narzędziem może być sieć Internet.

Badania autorów, przeprowadzone na Podkarpaciu w latach 2013-2014 wśród osób po 55 roku życia, jednoznacznie pokazują dominację postaw roszczeniowych w odniesieniu do oczekiwań stawianych przed opieką społeczną. Ponadto, pokazują one brak samoorganizacji osób starszych oraz niezdolność do życia zgodnego z zasadą dobrowolno-przymusowych obowiązków. Wśród osób w wieku senioralnym rzadko diagnozowano dążenie do samodzielnej zmiany swojego położenia. Umiarkowanym optymizmem napawają pojawiające się wśród seniorów sugestie o potrzebie zwiększenia ilości i dostępności informacji o adresowanych do nich usługach społecznych. Nie ulega wątpliwości, że w populacji osób starszych korzyści płynące z uświadomienia konieczności dowolnej formy aktywności są trudne do przecenienia. Dlatego, należy dążyć do stworzenia możliwości i warunków do samorealizacji swoich celów, w szczególności tych ukierunkowanych na zaspokojenie własnych potrzeb. Dzięki temu, poprawi się niezależność bytowa i ekonomiczna oraz poziom zadowolenia osób starszych. Jednocześnie, zmniejszy się częstość występowania nastrojów depresyjnych i negatywnego nastawienia do własnego życia.

Poprawa wieloobszarowego poziomu kompetencji ludzi w wieku senioralnym, poszerza zakres ich wiedzy i umiejętności, urealnając ich konstruktywne działania w warunkach rzeczywistego świata. W takiej sytuacji, Internet należy postrzegać jako podstawowe źródło informacji niezbędnej do samokształcenia i samodzielnego działania. Potrzeba ciągłego samodoskonalenia osób starszych, wynika z konieczności permanentnej adaptacji do stale zmieniających się warunków życia. Samokształcenie może być efektywne, tylko w przypadku dobrze przemyślanego i zorganizowanego systemu rozwoju i rozpowszechniania technologii wykorzystywanych do aktywizacji seniorów.

Pojawienie się i systematyczny rozwój technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych uprasza budowę, wdrożenie, a także późniejszą eksploatację komputerowych systemów samokształcenia, poprzez zwiększenie dostępności środków zdalnego nauczania. Jednak wykorzystanie do samokształcenia seniorów standardowych produktów nie przyniesie oczekiwanych rezultatów. Produkty adresowane do osób starszych powinny uwzględniać cechy osobowe, fizjologiczne, psychologiczne i motoryczne danej grupy odbiorców. Jedną z najbardziej efektywnych strategii aktywizacji jest korzystanie z zasobów dostępnych w sieci Internet, wymagające przygotowania seniorów do korzystania z komputera.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań, przeprowadzonych na Podkarpaciu w latach 2013-14, dotyczących sposobów spędzania wolnego czasu przez osoby w wieku senioralnym, zamieszkałe na terenach miejskich. Badaniu poddane były wyłącznie osoby spoza domów stacjonarnej pomocy społecznej, w rozumieniu Ustawy z dnia 12 marca 2004 r. o pomocy społecznej (Dz. U. 2009 r. Nr 175 poz. 1362, z późniejszymi zmianami). Każdy z ankietowanych mógł wskazać dowolną liczbę rodzajów zajęć, którym poświęca zauważalną ilość czasu lub podać, że nie posiada wolnego czasu. W tabeli 1 określono odsetek osób korzystających z danej

formy spędzania czasu, w ogóle ankietowanych, deklarujących dysponowanie wolnym czasem.

Tabela 1. Sposoby spędzania czasu przez osoby w wieku senioralnym.

Źródło: *Badania własne*

Rodzaj zajęcia	Wiek w latach, procentowy udział w zajęciach						
	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-
Udział w imprezach grupowych	14,9	27,3	11,4	10,5	7,3	3,1	0,0
Oglądanie telewizora	68,0	76,0	78,0	75,0	81,3	85,6	77,0
Czytanie, słuchanie audycji	44,7	41,8	43,1	39,5	29,7	21,8	11,5
Zajęcia o charakterze ruchowym	10,1	5,5	2,3	2,1	1,3	0,0	0,0
Zajęcia artystyczne, rękodzieło	6,4	21,8	18,2	11,8	4,7	3,6	3,8
Udział w imprezach religijnych	72,7	79,1	80,3	73,7	65,6	41,2	28,4
Spotkania z przyjaciółmi	51,0	38,2	31,8	25,0	25,0	32,7	7,8
Spotkania z rodziną	36,2	40,0	27,3	25,0	15,6	18,2	15,4
Praca społeczna	2,1	3,6	4,5	3,9	2,4	1,8	0,0
Udział w kołach zainteresowań	2,7	5,5	4,5	2,6	2,3	1,3	1,0
Korzystanie z Internetu	39,2	27,6	14,6	7,2	3,2	2,4	0,0
Inne	2,1	12,7	18,2	5,2	6,3	7,1	3,8
Brak czasu wolnego	57,4	23,7	6,3	3,9	3,1	1,8	1,1

W zakresie korzystania z Internetu, powyższe wyniki są zbliżone do przedstawionych w [6]. Zgodnie z nimi w 2013 roku z Internetu korzystało 55,2% osób w wieku 45-59 lat, 35,5% w wieku 60-64 oraz 14,1% w wieku powyżej 65 lat. Niższy niż w cytowanych badaniach poziom można wyjaśnić mniejszymi od średnich krajowych dochodami podkarpackich seniorów oraz słabszym wykształceniem. Najczęściej wymienianym powodem niekorzystania z Internetu, szczególnie przez osoby po 70-tym roku życia jest nieznanomość obsługi urządzeń i programów. Istotne znaczenie ma również czynnik finansowy, w szczególności niemożność pokrycia wydatków związanych z zakupem komputera. Koszt samego dostępu, jako bariera, wymieniany był rzadko.

4. Podsumowanie

Zbudowana i permanentnie modernizowana infrastruktura informacyjna Podkarpacia wykorzystywana jest słabiej niż w innych regionach kraju. Do najważniejszych tego powodów należy zaliczyć:

1. Niższy od średniej krajowej poziom wykształcenia oraz dochodów mieszkańców województwa;
2. Wyższe ceny za usługi dostępne, wynikające z mniejszej konkurencji pomiędzy dostawcami oraz słabiej rozwiniętej infrastruktury komunikacyjnej;
3. Stale rosnący lecz wciąż znajdujący się poniżej oczekiwań poziom świadomości społeczeństwa w dostrzeganiu korzyści, które daje wykorzystanie komputera i Internetu.

Udostępnienie Internetu socjalnego nie rozwiązuje problemu wykluczenia cyfrowego osób w wieku senioralnym. Niezbędne jest podjęcie innych działań, dotyczących w szczególności:

1. Organizacji szkoleń z zakresu wykorzystania Internetu dla osób starszych;
2. Programów nieodpłatnego udostępniania osobom starszym sprzętu komputerowego, umożliwiającego im korzystanie z sieci Internet;
3. Tworzenia w miejscach publicznych punktów dostępu do sieci, przeznaczonych głównie dla seniorów.

Poważnym zagrożeniem dla rozbudowy i wykorzystania infrastruktury informacyjnej regionu jest ucieczka absolwentów kierunków technicznych uczelni wyższych. Jej głównym powodem są uwarunkowania ekonomiczne i socjalne. Metod skutecznego przeciwdziałania temu należy upatrywać głównie w ułatwieniach prowadzenia wysokotechnologicznej działalności gospodarczej i dotowaniu działań o charakterze innowacyjnym.

Bibliografia

- [1] O. Spengler, Zmierzch Zachodu. Zarys morfologii historii uniwersalnej, Warszawa: Wydawnictwo KR, 2001.
- [2] European Commission, EU Regional Competitiveness Raport 2012. Reaping the Benefits of Globalization, Brussels: European Commission, 2013.
- [3] J. Papińska-Kacperek, Red., Społeczeństwo informacyjne, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [4] L. Haber i M. Niezgodą, Społeczeństwo informacyjne. Aspekty funkcjonalne i dysfunkcjonalne, Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2006.
- [5] M. Castells i P. Himanen, Społeczeństwo informacyjne i państwo dobrobytu, Warszawa: Wydawnictwo Krytyki Politycznej, 2009.
- [6] J. Czapiński i T. Panek, „Diagnoza społeczna 2013. Warunki i jakość życia Polaków”, Warszawa, 2013.
- [7] Urząd Statystyczny w Szczecinie, „Społeczeństwo Informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2008-2012”, Warszawa, 2012.
- [8] W. M. Maziarz, Rozwój rynku usług telekomunikacyjnych w warunkach kształtowania społeczeństwa informacyjnego w Polsce, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 2013.

ROZDZIAŁ 10

Rola społeczeństwa informacyjnego w formowaniu kapitału ludzkiego

Roman KOROSTENSKIY[♦], Piotr HAJDER[♣]

[♦]*Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie,*

[♣]*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Korostenskiy@gmail.com, Pioter.Hajder@gmail.com

Streszczenie

W rozdziale zaprezentowano analizę budowy i poszerzania kapitału ludzkiego w warunkach społeczeństwa informacyjnego. Autorzy omawiają kilka wybranych zagadnień z obszaru kapitału ludzkiego. W szczególności, przeanalizowane zostały: powiązania pomiędzy kapitałem ludzkim i społeczeństwem informacyjnym, cechy szczególne tworzenia wartości dodanej kapitału ludzkiego w warunkach społeczeństwa informacyjnego oraz instrumenty budowy składowych kapitału ludzkiego w społeczeństwie informacyjnym.

1. Definicja zadań i obszaru badań

Jedną z najistotniejszych zmian, datowanych na ostatnie dwa dziesięciolecia jest ewolucja miejsca oraz roli człowieka, który zgodnie z obowiązującą doktryną w procesach społecznych i gospodarczych zajmuje centralne położenie. Czynnikiem ludzkim w gospodarce i społeczeństwie zajmuje się m. in. teoria kapitału ludzkiego. Według niej, kapitał ludzki (KL) jest efektywnym czynnikiem rozwoju, włączającym: siłę roboczą, wiedzę, otoczenie oraz intelektualne i zarządcze instrumentarium pracy, zapewniające skuteczne i produktywne wykorzystanie KL, jako czynnika rozwoju. Kapitał ludzki jest podstawą budowy i rozwoju gospodarki opartej na wiedzy, będącej wyższym etapem jej ewolucji [1], [2], [3].

Tworzenie i rozwój KL nie jest już wyłącznie procesem inwestycyjnym, ale również procesem informacyjnym. Procesom tym, towarzyszy znacząca nieokreśloność metodologii badań, wynikająca z niedostatecznego determinizmu realizowanych przez organy państwowe operacji gromadzenia, przetwarzania, przechowywania, przesyłania i udostępniania informacji [4]. Jako niesatysfakcjonujący należy uznać również poziom wiedzy o wzajemnych relacjach informacji i KL. Niedostatecznie zbadaną jest również synergia występująca pomiędzy informacją, kapitałem ludzkim i społeczno-gospodarczym otoczeniem człowieka.

Wszystkie powyższe uwarunkowania, wymuszają potrzebę: zdefiniowania na nowo miejsca i roli człowieka w nowym modelu społeczeństwa, określenia najbardziej efektywnych form, metod i kierunków modyfikacji funkcjonującego jego otoczenia instytucjonalnego, w celu osiągnięcia maksymalnego efektu społeczno-gospodarczego. Pomimo wewnętrznych sprzeczności pomiędzy wieloma procesami zachodzącymi we współczesnym społeczeństwie, dalsze działania determinuje socjalizacja i humanizacja społeczeństwa. Skutkuje to przyspieszeniem i intensyfikacją działań, których celem końcowym jest poszerzenie i zmiana zawartości kapitału ludzkiego [5], [6], [7].

2. Kapitał ludzki w społeczeństwie informacyjnym

Zmianę zapatrywań na pojęcie kapitału ludzkiego, w pierwszej kolejności, należy powiązać z systematycznym rozwojem społeczeństwa informacyjnego (SI). Szczególna rola instrumentarium informatycznego w formowaniu KL została dostrzeżona w drugiej połowie XX wieku, ale prawdziwy przełom w tym zakresie nastąpił z początkiem XXI wieku, wraz z powszechną dostępnością sieci Internet. Teoretyczna baza KL zdefiniowana została przez ekonomię. Choć w kluczowych pracach uwzględniono uwarunkowania wynikające z teorii informacji i nauk jej pokrewnych, uważa się, że powiązania te są nieadekwatne rzeczywistości [1]. Nie uwzględniają one permanentnych zmian poziomu nasycenia życia społeczno-gospodarczego metodami i środkami informatyki. W większości współczesnych teorii ekonomicznych, rozwój kapitału ludzkiego uwzględnia wyłącznie jego funkcjonowanie w środowisku SI i w gospodarce opartej na wiedzy (GOW). W publikacjach dotyczących GOW, szczególną rolę przypisuje się człowiekowi, jego zdolnościom, motywacji, wiedzy oraz jego cechom psychologicznym.

W literaturze [4], [8], [9] znajduje się wiele przekonujących dowodów, że obecnie informacja jest najważniejszym czynnikiem budowy KL. Zgodnie z nimi jest ona podstawowym pojęciem współczesnego paradygmatu naukowego. Transformacja roli i miejsca informacji we współczesnej gospodarce tworzy nowy system powiązań pomiędzy człowiekiem i informacją. Powiązania te mają zarówno bezpośredni, jak i zwrotny charakter. Z jednej strony ciągłe poszerzanie się zasobów informacyjnych i ich dostępności prowadzi do przyspieszenia procedur edukacyjnych i wychowawczych, czego skutkiem końcowym jest rozwijanie KL. W SI, kapitał ludzki determinuje nową kategorię pracy, określaną terminem *pracy informacyjnej*. Jej efektem jest cykliczne tworzenie nowych informacji. Informacje te mogą stanowić treść kolejnych procesów edukacyjnych i wychowawczych.

Zamiana społeczeństwa postindustrialnego na informacyjne, pociąga za sobą zmianę szeregu kategorii ekonomicznych. Przykładowo, *produkcja informacyjna* to wykonywane przez człowieka zwiększanie bogactwa informacyjnego realnego świata. Z kolei *konsumpcja informacyjna* to proces przyswajania informacji, połączony z częściową zmianą jej właściwości. W odniesieniu do informacji, nie obowiązuje znane z fizyki prawo zachowania ilości, możliwa jest również całkowita

utrata informacji. Z tego właśnie powodu, analiza teoretyczna opiera się na pojęciu pracy informacyjnej, która charakteryzuje efekty wdrożenia technologii informacyjnych do sfery społeczno-gospodarczej.

Teoria kapitału ludzkiego, uważa *inwestycje* jako najważniejszą metodę zmiany KL. Istnieje wiele analogii w inwestowaniu w kapitał ludzki i fizyczny, jednak uwagę należy zwrócić na dzielące je różnice. W szczególności, kapitał ludzki nie może podlegać zajęciu komorniczemu, nie może być on również sprzedany. Dysponent kapitału ludzkiego nie może rozdzielić lub zróżnicować ryzyka, jak ma to miejsce w przypadku kapitału fizycznego. Kapitał ludzki charakteryzuje niepodzielność prawa własności, a także niemożność sprowadzenia go do zbioru praw instytucjonalnej teorii ekonomicznej.

3. Składowe KL i ich tworzenie w społeczeństwie informacyjnym

Kapitał ludzki ma charakter dualny i tworzą go dwie jego składowe: biologiczna oraz kulturowa. *Składowa biologiczna* wiąże się z działaniami, których celem jest maksymalne wydłużenie okresu aktywności zawodowej i społecznej osoby. Zaliczmy do nich: inwestycje w ochronę zdrowia, promowanie aktywnego trybu życia, zwiększenie długości urlopów wypoczynkowych i czasu pomiędzy okresami aktywności zawodowej. Obok inwestycji w zdrowie fizyczne, istotnym elementem jest wzbogacanie psychologicznych składowych człowieka. Jest to związane ze wzrostem roli człowieka w społeczeństwie informacyjnym, roli jego twórczości oraz kreatywnej składowej jego zajętości. Zauważmy, że efektywność działań pracowników zależy nie tylko od czynników obiektywnych, takich jak wiedza i umiejętności zawodowe, nawyki i przyzwyczajenia, stan zdrowia, ale również i od subiektywnych charakterystyk danej osoby, ściśle związanych z jej psychiką. *Kulturowa składowa* kapitału ludzkiego jest związana z inwestowaniem w wykształcenie, wychowanie i poinformowanie człowieka.

Inwestycje w obie składowe KL mogą mieć charakter bezpośredni bądź pośredni. W pierwszym przypadku, inwestycje nie wiążą się z obniżeniem popytu łącznego lecz zwiększają konsumpcję. W przypadku składowej kulturowej, konsumpcja taka zapewnia wzrost reprodukcji intelektualnej, sprzyja rozwojowi działalności naukowej oraz tworzeniu nowych zasobów informacyjnych. Najczęściej, ciężar inwestycji bezpośrednich ponoszą budżety gospodarstw domowych, co dodatkowo pozytywnie wpływa na efektywność ekonomiczną całej gospodarki. Inwestorem w KL mogą być również władze państwowe i samorządowe, pracodawca lub przedsiębiorstwo, zajmujące się stosowną działalnością. Jednak wraz z burzliwym rozwojem sieci Internet, a w szczególności zawartych w niej zasobów informacyjnych, inwestowanie w rozwój składowej kulturowej KL spoczywa najczęściej na gospodarstwach domowych.

Władze państwowe i samorządowe najczęściej inwestują w składową biologiczną. Jednak jej rozwój w warunkach społeczeństwa informacyjnego opiera się

na instrumentarium zmienionym w stosunku do społeczeństwa postindustrialnego. Zmiany te, kierują podejmowane działania systemowe w stronę makroekonomiczną. Inwestowane środki, coraz częściej pochodzą z programów celowych ukierunkowanych na ochronę i promowanie zdrowia oraz szerzenie kultury fizycznej i sportu. Istotnym działaniem jest również inwestowanie w ekologię i ochronę przyrody, a także w wieloletnie programy badawcze w tych obszarach.

W rozwoju składowej kulturowej, szczególną rolę odgrywa sieć Internet. Stała się ona jednym z najważniejszych czynników napędzających kapitał ludzki, szczególnie w krajach o słabym rozwoju ekonomicznym. Ponadto, ogólnosiątkowo sieć zwiększyła rolę w formowaniu KL podmiotów zagranicznych i transgranicznych, reprezentowanych zazwyczaj przez międzynarodowe stowarzyszenia zawodowe, organizacje religijne i humanitarne oraz fundusze pomocowe. Choć w początkowym zamiarze działania edukacyjne Internetu, były adresowane do krajów rozwijających się ich rola w Polsce, w szczególności na Podkarpaciu, jest znacząca. Badania autorów przeprowadzone w latach 2013-14, pokazały, że ponad 70% studentów do poszerzania swojej wiedzy korzystało z webinarów i tutoriali dostępnych w sieci, przygotowywanych przez profesjonalne organizacje.

Koszty inwestowania w KL dzielimy na trzy podstawowe grupy:

1. *Koszty bezpośrednie*, do których zaliczamy: czesne za naukę, nakłady związane ze zmianą miejsca zamieszkania oraz koszty poszukiwania pracy;
2. *Koszty pośrednie*, które najczęściej związane są ze skutkami ograniczenia aktywności zawodowej osoby inwestującej w swój KL;
3. *Koszty moralne*, wynikające ze złożoności procesu podwyższania kwalifikacji, poszukiwania nowej pracy, zmiany miejsca zamieszkania, rozłąki z bliskimi itp., wpływające na psychikę konkretnej osoby.

Badania pokazały, że ukierunkowane formowanie nawyków, umiejętności i motywacji oraz poprawa psychofizycznego zdrowia człowieka, wymaga od niego ponadprzeciętnego zainteresowania w osiągnięciu końcowego celu. Pomocnym w ich osiągnięciu, może być zastosowanie właściwej ludzkiej, złożonej hierarchicznej skali wartości, określającej ich zachowania, w tym również przyswajanie i konsumpcję wiedzy, charakterystycznej dla działań o charakterze ekonomicznym. Cechą szczególną inwestycji w kapitał ludzki w warunkach społeczeństwa informacyjnego jest również dualny charakter tychże działań. Zauważmy, że prowadzone inwestycje tworzą nowy system priorytetów konsumpcji w społeczeństwie. Innymi słowy, modyfikowane są nie tylko czynniki produkcji, ale również struktura i charakter popytu. Analiza wpływu inwestycji w kulturę składową kapitału ludzkiego na strukturę popytu, pokazuje że w społeczeństwie informacyjnym inwestowanie prowadzi do zmiany istoty użyteczności. O ile w społeczeństwie postindustrialnym wszelkie zmiany wiązane z poprawą dobrobytu osoby, to w społeczeństwie informacyjnym wiążemy ją dodatkowo ze zwiększaniem różnorodności konsumpcji. W rezultacie, możemy mówić o materialnej i informacyjnej wartości dóbr.

4. Wartość dodana kapitału ludzkiego w SI

Przemieszczając kapitał ludzki w obszary działalności informacyjnej, przemieszczamy tam również pracę. W tych warunkach, źródłem wartości dodanej staje się wytworzona przez pracę pewna ilość idealnej lub zmaterializowanej informacji. Formowanie i rozwój kapitału ludzkiego wymaga inwestycji zapewniających jego normalne odtworzenie oraz jakościowy rozwój struktury i charakterystyk kapitału. Inwestycje te, realizowane są za pośrednictwem szkolnictwa ponadgimnazjalnego oraz wyższego, a także kształcenia podyplomowego. Podejmowane działania obejmują również troskę o zdrowie pracowników oraz ich kształcenie w obszarze funkcjonowania rynku pracy. W odróżnieniu od społeczeństwa postindustrialnego, w społeczeństwie informacyjnym, dominującą rolę odgrywa poziom poinformowania osoby będącej nośnikiem kapitału ludzkiego.

Najważniejszym warunkiem wewnętrznym, warunkującym zmiany w tworzeniu KL jest zmiana formy, wyrażająca się jego informatyzacją. Z kolei podstawowymi warunkami zewnętrznymi są:

1. Daleko posunięta zmiana sposobu prowadzenia działalności gospodarczej, wyrażająca się szerokim wykorzystaniem informatyki oraz związane z tym zmiany instytucjonalne;
2. Zaostrzenie się konkurencji na rynku towarów i usług, wynikające z globalizacji gospodarki światowej oraz dołączaniem do niej podmiotów z krajów rozwijających się o taniej sile roboczej;
3. Wzrost kosztów pracy, będący rezultatem wzrostu płac, a także wzrostem opodatkowania podmiotów gospodarczych podatkami pośrednimi i bezpośrednimi;
4. Zmiana mechanizmów zarządzania produkcją i usługami, oparcie się na szerokim zastosowaniu automatyzacji i informatyzacji. Skutkuje to obniżeniem kosztów produkcji i usług, przy jednoczesnej poprawie ich jakości. Z drugiej strony wymagana jest szersza wiedza dotycząca budowy i eksploatacji takich systemów.

Wartość dodaną kapitału ludzkiego w warunkach społeczeństwa informacyjnego charakteryzuje kilka specyficznych cech, do których w pierwszej kolejności należy zaliczyć:

1. *Dualność kapitału ludzkiego*, złożonego ze składowej kulturowej i biologicznej. Składowa kulturowa, to informacja przyswojona przez indywidualium. Jej jakość zależy od ukierunkowania i intensywności współdziałania indywidualium z obszarem informacji społeczno-ekonomicznej. W tym obszarze, szczególnie rolę odgrywają usługi sieci Internet;
2. *Poszerzone znaczenie kapitału ludzkiego*. W przypadku produkcji informacyjnej, kapitał ludzki to więcej niż czynnik produkcji. Przy dominującej roli informacji w procesie produkcji, znaczenie KL wzrasta do poziomu bazy funkcjonalnej systemów społeczno-gospodarczych;

3. *Dualizm zależności*. Razem z zależnością jakości pracy i wynagrodzenia od poziomu nawyków przynależnych pracownikowi tworzone jest powiązanie samego człowieka z rodzajem pracy jaką się on zajmuje.

Szczególną rolę w tworzeniu KL w warunkach społeczeństwa informacyjnego powinny odgrywać uczelnie wyższe, posiadające w swej ofercie zdalne metody nauczania.

5. Podsumowanie i dalsze prace

Wraz z przejściem od społeczeństwa postindustrialnego do informacyjnego, rola i miejsce kapitału ludzkiego w systemie społeczno-gospodarczym istotnie się zmieniły. Inwestowanie w kapitał ludzki, stało się jedną z najkorzystniejszych form inwestowania. Istotna różnica dotyczy również sposobów zwiększania KL. O ile wcześniej, szczególna rola w tym obszarze była przypisywana systemowym formom kształcenia, to obecnie rola ta przypadła metodom kształcenia zdalnego.

Dalsze prace autorów, zostaną ukierunkowane w stronę formalnej analizy i modelowania procesów tworzenia, rozwoju i transformacji kapitału ludzkiego.

Bibliografia

- [1] T. W. Schultz, *Ekonomia kapitału ludzkiego*, Warszawa: Wolters Kluwer, 2014.
- [2] H. Król i A. Ludwicyński, *Zarządzanie zasobami ludzkimi. Tworzenie kapitału ludzkiego organizacji*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011.
- [3] B. Jamka, *Czynnik ludzki we współczesnym przedsiębiorstwie: zasób czy kapitał? Od zarządzania kompetencjami do zarządzania różnorodnością*, Warszawa: Wolters Kluwer Polska, 2011.
- [4] W. M. Maziarz, *Rozwój rynku usług telekomunikacyjnych w warunkach kształtowania społeczeństwa informacyjnego w Polsce*, Szczecin: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 2013.
- [5] M. Juchnowicz, Red., *Kulturowe uwarunkowania zarządzania kapitałem ludzkim*, Warszawa: Wolters Kluwer Polska, 2009.
- [6] J. Papińska-Kacperek, Red., *Społeczeństwo informacyjne*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [7] M. Golka, *Bariery w komunikowaniu i społeczeństwo (dez)informacyjne*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [8] L. H. Haber, Red., *Komunikowanie i zarządzanie w społeczeństwie informacyjnym. Wybrane zagadnienia*, Kraków: NOMOS, 2011.
- [9] M. Castells, *Społeczeństwo sieci*, II red., Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011.

ROZDZIAŁ 11

Metodologia oceny wpływu infrastruktury informacyjnej na rozwój regionalny

Mariusz NYCZ*, Piotr HAJDER*

*Politechnika Rzeszowska, *Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
MNycz@prz.edu.pl, Pioter.Hajder@gmail.com

Streszczenie

Stan infrastruktury informacyjnej istotnie wpływa na rozwój regionalny. Jest ona jednym z najważniejszych czynników określających innowacyjność i atrakcyjność inwestycyjną regionu. Zaproponowana metodologia badania wpływu bazuje na szeregu relacji, opisujących powiązania pomiędzy lokalnymi uwarunkowaniami społeczno-gospodarczymi, infrastrukturą informacyjną i rozwojem regionalnym. Składa się ona z 9 sekwencyjnych kroków i oprócz oszacowania wartości wskaźników, określa kierunki doskonalenia infrastruktury. W podsumowaniu, przedstawiono wybrane zalecenia dotyczące budowy i wykorzystania infrastruktury informacyjnej. Rozdział jest adresowany do wszystkich osób zainteresowanych intensyfikacją rozwoju regionalnego.

1. Czynniki rozwoju społeczno-gospodarczego

Chociaż od rozpoczęcia reform strukturalnych w Polsce minęło już ćwierć wieku, zadania związane z modernizacją i aktywizacją gospodarki są nadal ważne i aktualne. Jednym z najistotniejszych procesów, które pojawiły się po 1989 roku jest integracja ze światowym systemem ekonomicznym. O ile w ostatnim dziesięcioleciu XX wieku integracja była regulowana centralnie, to obecnie podobne zjawiska zachodzą na poziomie regionalnym, coraz większe znaczenie posiada bezpośrednia współpraca pomiędzy lokalnymi systemami gospodarczymi państw Unii Europejskiej. Zachodzącym przemianom towarzyszą zmiany otoczenia instytucjonalnego: kształtowanie nowych norm i zasad współdziałania gospodarczego, coraz szerszy polimorfizm własności oraz znaczny wzrost liczby podmiotów prowadzących działalność gospodarczą [1], [2], [3].

Podstawowymi czynnikami, wpływającymi na społeczno-gospodarczy rozwój regionu są kapitały: ludzki, materialny, finansowy i społeczny, innowacje technologiczne i organizacyjne oraz przepływy osób, towarów i kapitału [4]. Do kapitału materialnego odnosimy dobra, wykorzystywane do prowadzenia działalności go-

spodarczej. W szczególności są nimi: zasoby naturalne i stan środowiska przyrodniczego; infrastruktura techniczna i społeczna oraz środki trwałe podmiotów. Jednym z ważniejszych elementów infrastruktury technicznej jest *infrastruktura informacyjna* (II), której podstawowym zadaniem jest gromadzenie, przetwarzanie oraz udostępnianie informacji. Informacja to dzisiaj jedna z najcenniejszych wartości niematerialnych. Stała się ona niezbędna zarówno podmiotom gospodarczym, administracji rządowej jak i jednostkom samorządu terytorialnego.

Modernizacja otoczenia społeczno-gospodarczego jest w dużym stopniu, realizowana ze środków pomocowych, przy czym, coraz większa ich część wydawana jest na poziomie lokalnym. Wymaga to od samorządu terytorialnego permanentnego monitoringu i oceny efektywności wykorzystania środków, poprzez diagnozowanie zachodzących przemian społeczno-gospodarczych. Ponieważ jedną ze znaczących pozycji w budżetach samorządów są środki przeznaczone na budowę i modernizację infrastruktury informacyjnej, konieczna jest ocena poziomu II oraz jej wpływu na rozwój lokalny. Stosowane obecnie metodyki, bazują najczęściej na pojęciu kapitału infrastrukturalnego bądź opierają się na szacowaniu poziomu rozwoju społeczeństwa informacyjnego [5], [6], [7], [8], [9], [10]. Choć są one powszechnie akceptowane i wykorzystywane, nie do końca odpowiadają stawianym przed nimi wymaganiom. Zazwyczaj, nie są to narzędzia kompleksowe, oferujące zintegrowaną ocenę oddziaływania. Znaczna część z nich, nie uwzględnia społecznego i kulturowego charakteru wpływu, przez co otrzymywana ocena jest niekompletna. Dodatkowo, większość rozbudowanych metodyk posiada charakter branżowy, co oznacza, że określany jest wpływ infrastruktury na konkretną ścieżkę rozwoju. Zauważmy, że II przejawia znacznie szersze oddziaływanie na przeobrażanie regionu niż na przykład, infrastruktura transportowa. W przeciwieństwie do ostatniej, II w różnym stopniu wpływa na wszystkie obszary rozwoju regionalnego, przy czym jej oddziaływanie jest znaczące w obszarze kulturowym, śladowe zaś w odniesieniu do rozwoju sąsiednich regionów.

Powyższe rozważania wskazują na potrzebę opracowania nowej metodyki szacowania wpływu II na rozwój regionalny. Jej podstawowym zadaniem byłaby krytyczna ocena realizowanych i przygotowywanych koncepcji rozwoju z uwzględnieniem dalszego doskonalenia społeczeństwa informacyjnego.

2. Wpływ infrastruktury informacyjnej na rozwój regionalny

Wcześniejsze badania pokazały, że infrastruktura informacyjna przejawia kluczowy wpływ na rozwój regionalny [11], [12]. W prezentowanych badaniach, skoncentrowano się na określeniu społecznych efektów wykorzystania II, przekładających się na wzrost poziomu życia i bezpieczeństwa mieszkańców regionu. Uzyskane wyniki pokazały, że sprawnie funkcjonująca II zapewnia stabilność działania systemu społeczno-gospodarczego, w szczególności dzięki powszechności dostępu do informacji oraz tworzeniu nowych form świadczenia pracy, do których w pierwszej kolejności należy zaliczyć telepracę. Klasyfikację wpływu II,

reprezentującej kapitał infrastrukturalny na rozwój regionalny, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wpływ infrastruktury informacyjnej na rozwój regionalny

Charakter wpływu	Efekty wpływu
Efekty bezwzględne	
Bezpośredni	Zmniejszenie kosztów i poprawa efektywności funkcjonowania urzędów i przedsiębiorstw. Wzrost poziomu informowania ludności, poszerzenia kontaktów społecznych i gospodarczych. Rozwój współpracy międzyregionalnej i międzynarodowej.
Pośredni	Zwiększenie produktu regionalnego. Wyrównywanie poziomów rozwoju obszarów regionu. Poprawa klimatu inwestycyjnego oraz podwyższenie aktywności innowacyjnej. Wspieranie branż technologicznych, w tym produkcji informacyjnej. Poprawa wykorzystania czynników produkcji. Kształtowanie popytu globalnego.
Efekty względne	
Względem czasu	Oddziaływanie długoterminowe: zaspokojenie potrzeb firm oraz ludności w dostępie do usług informacyjnych i telekomunikacyjnych; zwiększenie wpływów podatkowych, wynikających z wykorzystania II; możliwość telepracy, tworzenie nowych miejsc pracy w branży IT i jej otoczeniu. Oddziaływanie krótkoterminowe: zmniejszenie kosztów produkcji; zaspokojenie potrzeb ludności w obszarze dostępu do informacji.
Względem sposobu wpływu	Wpływ endogeniczny: polepszenie relacji informacyjnych dla przedsiębiorstw i ludności; poprawa atrakcyjności regionu jako miejsca zamieszkania. Wpływ egzogeniczny: włączenie w międzyregionalną i międzynarodową sieć powiązań gospodarczych.
Względem poziomu wpływu	Poziom lokalny: rozwój komunikacji międzyludzkiej, poszerzenie rynków lokalnych dzięki poprawie dostępności do informacji, wzrost popytu na produkty lokalne, zwiększenie mobilności zawodowej ludności, możliwość telepracy. Poziom regionalny: poszerzenie obszaru funkcjonowania biznesu, stworzenie warunków dla przedsiębiorstw wysokich technologii; poprawa kadrowego zabezpieczenia przedsiębiorstw. Poziom globalny: zapewnienie bezpieczeństwa narodowego dzięki powszechnej polityce informacyjnej, zagwarantowanie integralności informacyjnej kraju, stworzenie możliwości skalowania biznesu i zarządzania nim, poprawa mobilności kapitału.

W przypadku wysokich technologii, rozwinięta infrastruktura informacyjna sprzyja zaangażowaniu w produkcję materialną wszystkich obszarów regionu, zwiększa integralność informacyjną oraz mobilność ludności. Przyczynia się ona do doskonalenia regionalnej przestrzeni gospodarczej, zapewnia dalszy między-

regionalny podział pracy, sprzyja zaangażowaniu w produkcję w nowych obszarach. Rozwinięta infrastruktura informacyjna, funkcjonuje w oparciu o efekt sprzężenia zwrotnego: przyciągając struktury biznesowe, rozszerza granice wykorzystania zasobów ludzkich, nadając w ten sposób ważny impuls napływowi wysoko wykwalifikowanych kadr, znużonych wielkimi aglomeracjami miejskimi.

3. Ocena wpływu infrastruktury informacyjnej na rozwój regionalny

Budując metodologiczne instrumentarium szacowania wpływu, należy kierować się ogólnymi zasadami, zdefiniowanymi przez analizę systemową. W szczególności, należy skorzystać z zasad: kompleksowości, optymalności, systemowości, operatywności i ukierunkowania. Zgodnie z zasadą *kompleksowości*, zaproponowana procedura oceny musi obejmować całość (w szczególnym przypadku, większość) procesów społeczno-gospodarczych, występujących się w regionie. Zasada *optymalności*, wymaga aby każda podejmowana decyzja zarządcza, wiążąca się z wykorzystaniem II była optymalna z punktu widzenia jakości życia ludności. Uwzględniając zasadę *systemowości*, II traktujemy jako integralną część regionalnego systemu społeczno-gospodarczego, tworzącą z nim jedną, spójną całość. Uwzględnienie zasady *operatywności* pozwala na wykorzystanie zebranych informacji do monitoringu wpływu i terminowego reagowania na negatywne przejawy procesów. Zgodnie z zasadą *ukierunkowania*, infrastruktura informacyjna oraz regionalne cele rozwoju powinny być ściśle powiązane i korelować z narodowym celem rozwoju społeczno-gospodarczego, którym powinno być podniesienie poziomu, jakości i bezpieczeństwa życia ludności.

W oparciu o powyższe zasady przygotowana została metodyka oceny wpływu infrastruktury informacyjnej na społeczno-gospodarczy rozwój regionu. Opiera się ona na założeniu, że dynamika wykorzystania infrastruktury informacyjnej oraz dynamika rozwoju społeczno-gospodarczego regionu mogą być opisane za pomocą systemu wskaźników. Tworząc wspomnianą metodykę, założono, że:

1. Istnieją realne powiązania pomiędzy dynamiką wskaźników wykorzystania II, a dynamiką wskaźników rozwoju społeczno-gospodarczego regionu;
2. Najważniejszymi wskaźnikami rozwoju społeczno-gospodarczego rozwoju regionu, uwzględnianymi w ocenie będą: regionalny produkt brutto (RPB), tempo wzrostu RPB lub dochody ludności w regionie. Poziom wpływu II na rozwój regionu, określany będzie poprzez wpływ na ww. czynniki regionalne. Pozostałe wskaźniki będą traktowane jako drugorzędne;
3. Określenie wpływu II na rozwój społeczny regionu, uwzględniać będzie: porządek prawny, bezpieczeństwo publiczne, zdrowie ludności, edukację, kulturę, kulturę fizyczną i sport, gospodarkę komunalną i mieszkaniową, w planie dostępności i jakość tych dóbr;

4. W procesie oceny konkretnych regionów uwzględniane będą ich cechy szczególne, a ocena wpływu II będzie podstawą określania celów strategicznych i zadań taktycznych ich rozwoju.

Zaproponowana metodyka składa się z opisanych poniżej kroków:

KROK 1: Określenie celu analizy i wybór regionu do badań;

KROK 2: Gromadzenie, analiza, systematyzacja oraz uogólnienie informacji o stanie i perspektywach rozwoju społeczno-gospodarczego wybranego regionu;

KROK 3: Gromadzenie, analiza, systematyzacja oraz uogólnienie danych o II regionu;

KROK 4: Wybór zestawu wskaźników oceny wpływu II na rozwój społeczno-gospodarczy regionu;

KROK 5: Analiza, za pomocą metod porównawczych, problemów regionu wynikających z niedoskonałości II;

KROK 6: Ocena wpływu II na wskaźniki rozwoju społeczno-gospodarczego regionu;

KROK 7: Określenie, za pomocą metod statystycznych, korelacji pomiędzy rozwojem regionalnym, a II;

KROK 8: Analiza krytyczna wyników oceny regionów, interpretacja rezultatów;

KROK 9: Wyznaczenie priorytetowych kierunków rozwoju II z uwzględnieniem intensyfikacji rozwoju społeczno-gospodarczego regionu.

W celu uzyskania prognoz wpływu na rozwój konkretnych działań w obszarze rozbudowy i modernizacji II, realizacja procedury może przebiegać iteracyjnie. Do wyznaczenia, określanych w kroku 9 podstawowych kierunków rozwoju II, wykorzystano stworzony specjalnie do tego celu system ekspertowy, uwzględniający wagę poszczególnych kryteriów oceny.

4. Podsumowanie

Badania symulacyjne przeprowadzone z wykorzystaniem zaproponowanej metodyki, bazujące na własnych danych autorów oraz materiałach udostępnianych przez Główny Urząd Statystyczny m. in. pokazały, że:

1. Kwoty wnoszone w formie różnorodnych podatków do budżetów regionów nie zależą od intensywności wykorzystania II. Dlatego, można przypuszczać, że samorządy będą zainteresowane głównie budową infrastruktury, w mniejszym zaś stopniu jej masowym wykorzystaniem;
2. Ewentualne zwiększanie obciążeń podatkowych przedsiębiorców, w szczególności powiązanie ich z objętością informacji przetwarzanej, gromadzonej lub przesyłanej w II miałyby negatywne skutki. Aby tego uniknąć, dostęp do zasobów informacyjnych i komunikacyjnych II powinien być opłacany ryczałtowo, tak aby nie tłumić zakresu wykorzystania;

3. Podwyższanie kosztów korzystania z II przez odbiorców końcowych, z uwagi na niski poziom dochodów ludności województwa Podkarpackiego, spowoduje odpływ przychodów z innych usług lub rezygnację z dostępu do II.

Dalsze prace autorów będą skoncentrowane na budowie programu komputerowego, automatyzującego wykonanie zaproponowanej metodyki.

Bibliografia

- [1] M. Cierpiął-Wolan, Red., Województwo podkarpackie. Podregiony, powiaty, gminy - 2013, Rzeszów: Urząd Statystyczny w Rzeszowie, 2013, p. 356.
- [2] D. Andrzejczyk, „Przedsiębiorczość małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce - ujęcie regionalne”, *Roczniki Ekonomiczne Kujawsko - Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy*, tom 3, pp. 137-152, 2010.
- [3] Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, „Raport o stanie sektora małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce w latach 2011-2012”, Warszawa, 2013.
- [4] P. Churski, „Rozwój regionalny w warunkach transformacji gospodarczej i integracji europejskiej”, w *Przekształcenia regionalnych struktur funkcjonalno-przestrzennych. Regionalny wymiar integracji europejskiej*, tom VIII/1, S. Ciok i D. Ilnicki, Redaktorzy, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego. Uniwersytet Wrocławski, 2004, pp. 31-45.
- [5] S. Piszczek i M. Biczkowski, „Analiza współzależności potencjału gospodarczego i infrastruktury technicznej obszarów wiejskich”, *Więś i Rolnictwo*, nr 2 (159), pp. 71-87, 2013.
- [6] J. Mackiewicz-Łyziak, „Wpływ infrastruktury na produktywność w gospodarce Polski”, *Gospodarka Narodowa*, nr 3, pp. 41-61, 2010.
- [7] Policy & Action Group Uniconsult, „Ocena wpływu wsparcia z funduszy strukturalnych w zakresie modernizacji i rozbudowy infrastruktury społecznej na realizację celów rozwojowych regionów”, Warszawa, 2009.
- [8] Centrum Studiów Regionalnych UniRegio, „Ocena wpływu projektów realizowanych w ramach osi priorytetowej 4. MRPO "Infrastruktura dla rozwoju gospodarczego", Kraków, 2011.
- [9] A. Krakowiak - Bał, „Wpływ infrastruktury na rozwój przedsiębiorczości w gminach wiejskich wybranych powiatów woj. małopolskiego”, *Inżynieria Rolnicza*, nr 7 (95), pp. 101-108, 2007.
- [10] IBS Insytut Badań Strukturalnych, „Analiza wpływu inwestycji w infrastrukturę społeczną na wzrost gospodarczy województwa śląskiego”, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, Katowice, 2009.
- [11] J. Oleński, Infrastruktura informacyjna państwa w globalnej gospodarce, Warszawa: Nowy Dziennik sp. z o.o. i Uniwersytet Warszawski, Wydział Nauk Ekonomicznych, 2006, p. 710.
- [12] J. Kisielnicki, Systemy informatyczne zarządzania, Warszawa: Placet, 2013, p. 504.

ROZDZIAŁ 12

Synteza i analiza układu sterowania zaopatrzeniem gminy w wodę

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ, Roman KOROSTENSKYI

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie

Miroslaw.Hajder@gmail.com, JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl, Korostenskyi@gmail.com

Streszczenie

W rozdziale monografii zaprezentowano praktyczne wykorzystanie narzędzi syntezy i analizy układu sterowania systemem dystrybucji wody pitnej, opartych na programie Matlab/Simulink i wykorzystujących bibliotekę SimHydraulics. Zaprezentowano elementy i środowisko systemu modelowania, a na ich bazie opracowano i przeanalizowano model realnego systemu dystrybucji wody. Rozdział jest adresowany do osób zajmujących się zaopatrzeniem gmin w wodę.

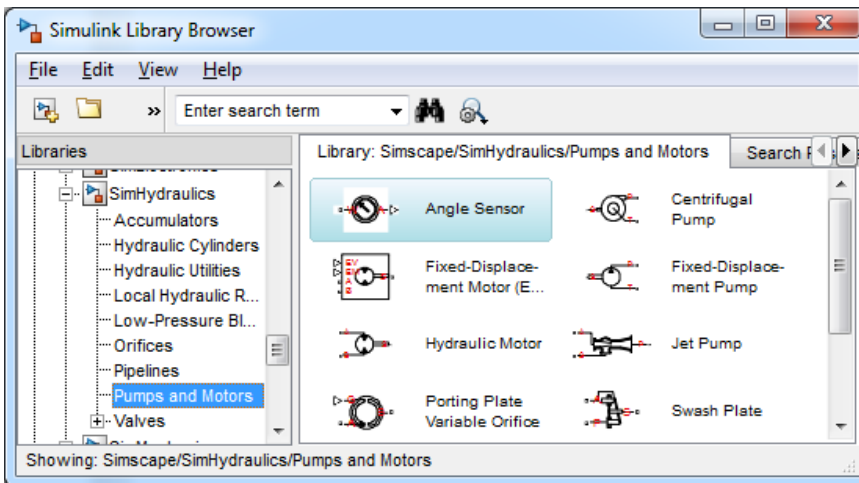
1. Wprowadzenie

Ewolucja organizmów ziemskich zdecydowała o kluczowej roli wody dla rozwoju życia. Nieskrępowany dostęp do niej jest, od zarania dziejów, podstawą funkcjonowania wszystkich cywilizacji. Z tego powodu, systemy dystrybucji wody (SDW) są obecnie nieodzownym elementem infrastruktury technicznej. Niestety, większość SDW funkcjonuje w niezmienniej od wielu lat postaci, co skutkuje nieefektywnym wykorzystaniem posiadanych zasobów. Niedostateczna troska o infrastrukturę wodno-kanalizacyjną wynika z wysokich kosztów i złożoności organizacyjnej jej modernizacji. Podejmując prace modernizacyjne należy eliminować możliwe błędy w infrastrukturze, a także precyzyjnie określać ich koszty. Niezbędnym jest zastosowanie rozwiązań sprzyjających i promujących oszczędność wody u wszystkich jej odbiorców, tj.: w gospodarstwach domowych, rolnictwie, drobnej wytwórczości i przemyśle. Rozwiązania te powinny szeroko wykorzystywać narzędzia informatyki i automatyki.

W rozdziale, z wykorzystaniem oprogramowania Matlab/Simulink i biblioteki SimHydraulics, zaprojektowano i przeanalizowano układ pomp SDW, zapewniający efektywne zużycie zasobów wodnych i wykorzystywanego sprzętu. Zaproponowane środowisko jest alternatywą dla kosztownych dedykowanych systemów projektowania zaopatrzenia w wodę.

2. Biblioteka SimHydraulics

SimHydraulics to biblioteka pakietu Simulink, przeznaczona do modelowania układów hydraulicznych. Łączy ona w sobie funkcjonalności produktów *SimPowerSystems*, *SimMechanics* i *SimDriveline*, umożliwiając symulację współpracy kontrolerów z innymi urządzeniami. Za pomocą *SimHydraulics* można m. in. obliczyć ciśnienie i wysokość podnoszenia cieczy w systemach zbudowanych na bazie standardowych i niestandardowych komponentów. Oferowane narzędzia pozwalają modelować konwersje energii hydraulicznej w mechaniczną, a także ocenić efekt spowodowany otwarciem lub zamknięciem zaworów. W celu poprawy dokładności obliczeń, w skład *SimHydraulics* włączono bibliotekę najczęściej spotykanych płynów. Dzięki temu, pakiet *SimHydraulics* pozwala rozwiązywać zadania statyki, kinematyki i dynamiki różnych układów hydraulicznych. Komponenty biblioteki zostały przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Komponenty biblioteki *SimHydraulics*

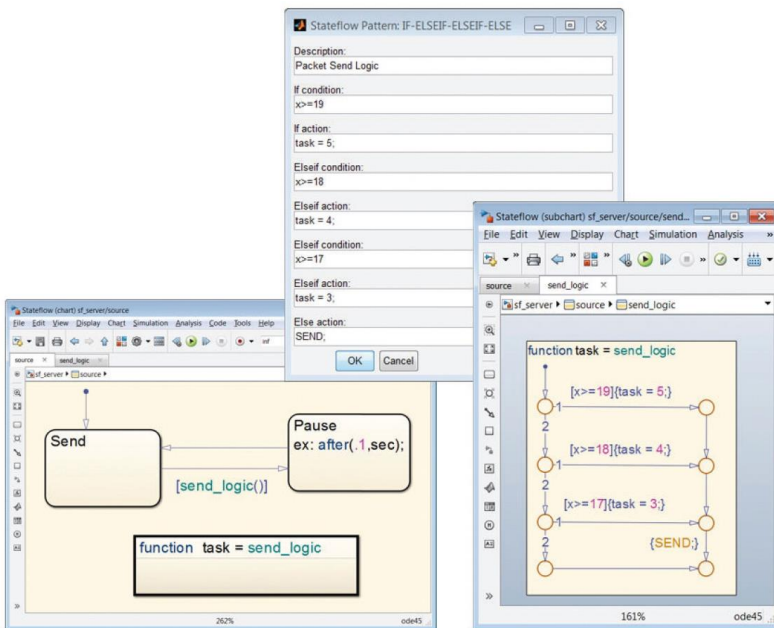
Zaletami symulacji układów hydraulicznych za pomocą *SimHydraulics* są łatwość tworzenia modeli oraz wysoka szybkość wykonania obliczeń modelujących system z dużą liczbą elementów. W odróżnieniu od większości innych komponentów pakietu SIMULINK, które wykonują operacje matematyczne lub przetwarzają sygnały, bloki *SimHydraulics* są elementami systemów hydraulicznych lub powiązań pomiędzy nimi. Zestaw elementów standardowych jest bardzo obszerny i pozwala modelować większość układów hydraulicznych [1], [5].

3. Środowisko modelowania Stateflow

Środowisko modelowania *Stateflow* to pakiet przeznaczony do modelowania i symulacji, kombinatorycznej oraz sekwencyjnej logiki podejmowania decyzji na bazie maszyny stanów i schematu blokowego. *Stateflow* pozwala łączyć rozwią-

zania graficzne i tabelaryczne, w tym diagramy stanów przejść, schematy logiczne, tabele stanów przejść i prawdy. Pozwala on opisać reakcję systemu na zdarzenia, warunki czasowe oraz zewnętrzne sygnały wejściowe. Za pomocą środowiska można budować logikę automatyzacji procesów, planowanie zadań i procedury reagowania systemów na błędy. Stateflow udostępnia projektantowi animacje, wykresy stanów, a także weryfikatory statyczne i dynamiczne. Wszystko to, pozwala zagwarantować, że realizowany projekt będzie zgodny z wymaganiami zdefiniowanymi przed rozpoczęciem jego realizacji.

Maszyna stanów modeluje tryby pracy systemu, a logikę przełączania pomiędzy jego trybami przedstawia się za pomocą nawigacji powęzłowej. Stateflow zapewnia symulację różnych elementów systemu, których stany mogą być generowane sekwencyjnie lub równoległe. Stateflow zapewnia również zarządzanie złożonością projektu, do czego wykorzystuje hierarchiczną organizację obiektów, funkcji i komponentów tworzących system. W Stateflow pozwala także symulować logikę kombinatoryczną w postaci graficznego schematu blokowego oraz w formie tabelarycznej za pomocą tabel prawdy. Przygotowanie logiki obejmuje określenie warunków poprawności oraz sekwencji niezbędnych. Warunki i czynności są definiowane za pomocą języka C lub programu MATLAB.



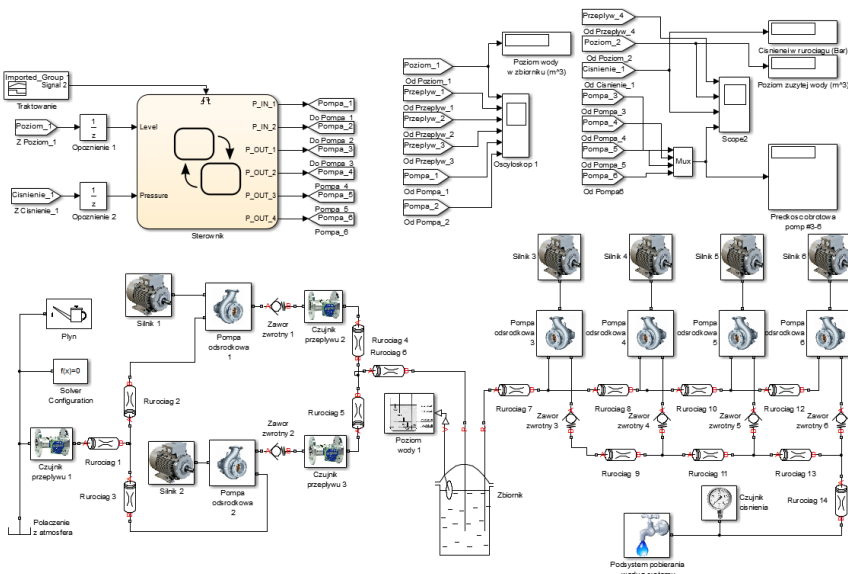
Rys. 2. Diagramy Stateflow [3]

Stateflow to edytor graficzny przeznaczony do graficznego wprowadzania maszyn stanów i diagramów sekwencji działań. Budowa maszyny opiera się na wykorzystaniu standardowych stanów, przejść i węzłów rozmieszczonych na stosownej palecie. Można również tworzyć funkcje, używając do tego notacji sche-

matu blokowego, podsystemu Simulink, aplikacji MATLAB lub tabel prawdy. Wykres w środowisku Stateflow może być przedstawiony w postaci wykresu Meale'go lub Moore'a. Pozwala on budować schematy blokowe na bazie połączonych węzłami przejść, które zostaną wykonane w zależności od zaistniałych warunków. Kreator szablonów *Pattern Wizard* pozwala budować często wykorzystywane szablony logiczne. Mogą być one stosowane wielokrotnie, w tym samym lub różnych modelach [6].

4. Modelowanie układu dostarczania wody w MATLAB Simulink

Dla analizy SDW z wykorzystaniem programu MATLAB Simulink, na bazie biblioteki SimHydraulics przygotowano system przedstawiony schematycznie na rys. 3. Jest to uproszczona wersją systemu dystrybucji wody w Gminie Leżajsk.



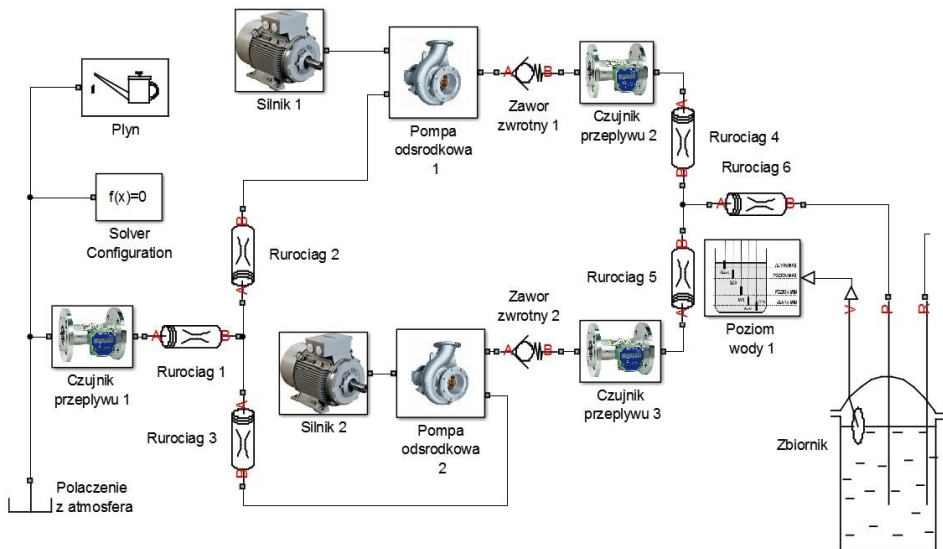
Rys. 3. Model układu dostarczania wody

Można go podzielić na cztery, współdziałające podsystemy:

- Ujęcie i magazynowanie wody;
- Dystrybucja wody;
- Sterowanie;
- Wizualizacja funkcjonowania.

W niniejszym paragrafie opisano każdy z podsystemów oraz przedstawiono ich wpływ na działanie całego systemu.

Ujęcie i magazynowanie wody. Komponenty systemu zostały przedstawione w środowisku *SimHydraulics* na rys. 4. Do modelowania ujęcia i magazynowania wykorzystano następujące komponenty biblioteki:



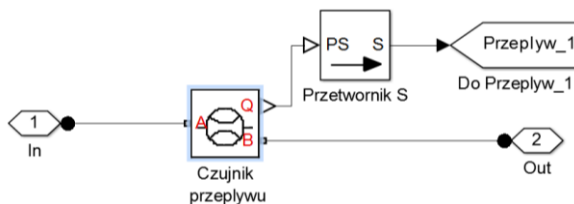
Rys. 4. Model systemu ujęcia i gromadzenia wody

- a. Blok płynów;
- b. Połączenie z atmosferą;
- c. Rury hydrauliczne;
- d. Zawory zwrotne;
- e. Idealne czujniki przepływu;
- f. Przetworniki S→SP;
- g. Pompy odśrodkowe;
- h. Źródła idealnej prędkości obrotowej.

Niektóre z powyższych bloków tworzą podsystemy, do których możemy zaliczyć:

- a. Przepływomierz;
- b. Silnik pompy odśrodkowej;
- c. Pomiar poziomu wody w zbiorniku magazynującym.

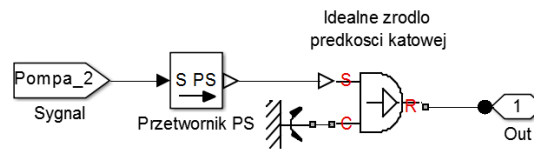
Przepływomierz. Wykorzystuje się go do określenia przepływu cieczy w rurociągu, wytwarzanego przez każdą z załączonych pomp. Podsystem ten przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Podsystem przepływomierza

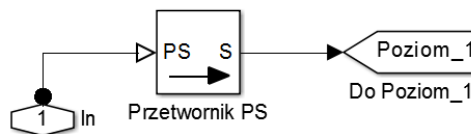
Podsystem posiada wejście *In* i wyjście *Out*, zgodne z kierunkiem przepływu cieczy. Wyposażony jest on również w czujnik przepływu cieczy oraz przetwornik sygnału dla zmiennej typu *double*, zapewniający wyświetlanie oraz dalsze wykorzystanie danych o przepływie. Do zmiennej, należy się odwoływać za pośrednictwem etykiety *Do Przepływ_1*.

Silnik elektryczny. Wykorzystywany jest do napędzania agregatów pompowych i został przedstawiony na rys. 6. Podsystem ten reguluje prędkość obrotową wału pompy, zgodnie z poleceniami wydawanymi przez sterownik systemu. Liczba obrotów jest odczytywana z etykiety *Pompa_2*, przekształcana na sygnał w przetworniku i podawana na źródło prędkości obrotowej, które za pomocą wyjścia *Out* zostaje połączone z wałem pompy.



Rys. 6. Podsystem silnika elektrycznego

Pomiar poziomu cieczy w zbiorniku. Zbiornik posiada funkcję automatycznego określania poziomu cieczy (patrz rys. 7). W celu dalszego wykorzystania, wygenerowany sygnał zostaje przekształcony w zmienną typu *double* i przekazany do etykiety *Poziom_1*.

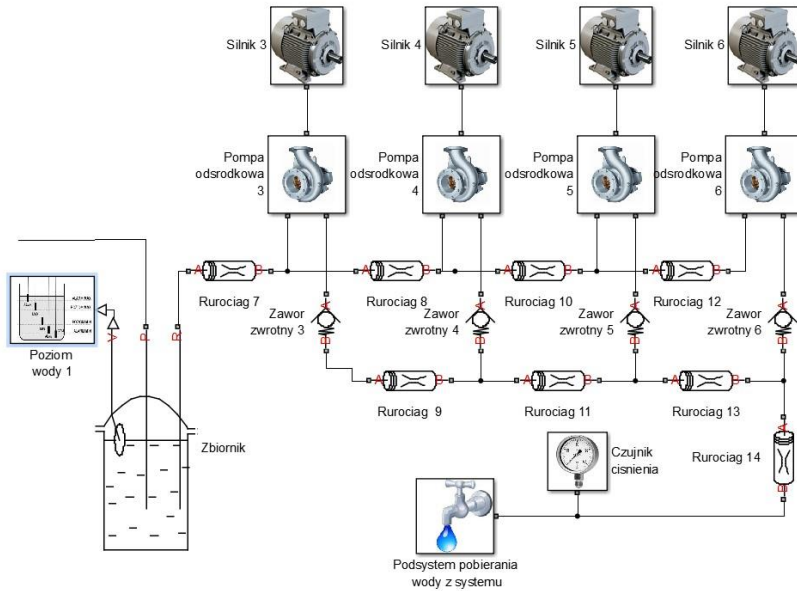


Rys. 7. Wskaźnik poziomu cieczy w zbiorniku magazynującym

Dystrybucja wody. Architektura podsystemu, została przedstawiona na rys. 8. Jego modelowanie opiera się na wykorzystanych w różnych ilościach, następujących komponentach z biblioteki *SimHydraulics*:

- Zbiornik;
- Połączenie z atmosferą;
- Rura hydrauliczne;
- Zawór zwrotny;
- Zawór przepływowy;
- Idealny czujnik przepływu;
- Idealny czujnik ciśnienia;
- Przetwornik S→SP;
- Przetwornik PS→S;

- j. Pompa;
- k. Źródło idealnej prędkości obrotowej.



Rys. 8. Model systemu dystrybucji

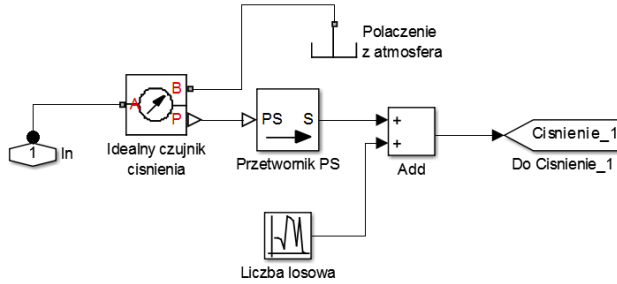
W celu uproszczenia projektowania, część z powyższych bloków funkcjonalnych można łączyć podsystemy. Do najważniejszych zaliczamy:

- a. Przepływomierz;
- b. Silnik pompy;
- c. Pomiar poziomu w zbiorniku;
- d. Czujnik ciśnienia;
- e. Pobór wody z systemu.

Część z ww. podsystemów została opisana wcześniej.

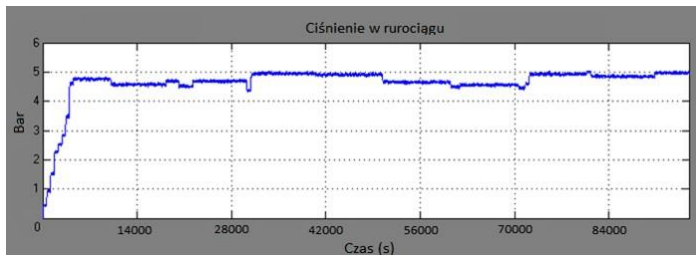
Czujnik ciśnienia. Praca pomp jest konieczna do funkcjonowania systemu, jednak powinna ona mieć miejsce wyłącznie w przypadku zaistnienia takiej konieczności. Po pierwsze, pompy są najbardziej podatnym na zużycie elementem całego systemu i czas ich pracy powinien być optymalizowany. Po drugie, wymagają one napędzania źródłem prędkości obrotowej o znacznej mocy. Dlatego, optymalizacja powinna obejmować również zużycie energii elektrycznej. Parametrem, wartość którego będzie decydować o optymalizacji jest ciśnienie wody w rurociągach. Pomiaru ciśnienia dokonuje podsystem idealnego czujnika ciśnienia, przedstawiony na rys. 9. Posiada on dwa wejścia, pierwsze z których jest podłączone do rurociągu, drugie zaś do atmosfery. Wskazywane ciśnienie jest określone jako różnica pomiędzy ciśnieniem w rurociągu, a ciśnieniem atmosferycznym. W celu symulacji rzeczywistych warunków funkcjonowania do uzyskanego wska-

zania, dodawana jest wygenerowana liczba losowa, traktowana jako pojawiające się zakłócenie.



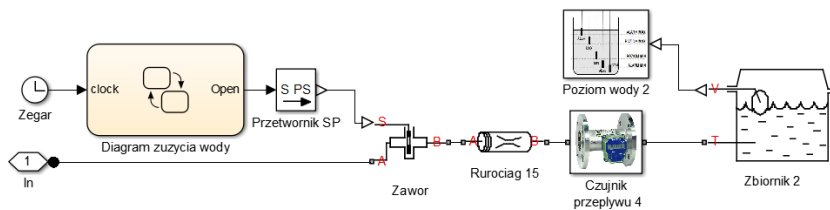
Rys. 9. Podsystem czujnika ciśnienia

Wykres ilustrujący zmiany ciśnienia w czasie, przestawiono na rys. 10.



Rys. 10. Wykres zmiany ciśnienia wody w rurociągu

Pobór wody z systemu. Celem prowadzonych badań była analiza zachowania systemu będącego odpowiedzią na konsumpcję wody. Dlatego w systemie musi znaleźć się blok symulujący jej pobór. Kluczowymi elementami bloku są sterowany zawór oraz dobowy harmonogram zużycia wody, określający otwarcia zaworu w funkcji czasu. Omawiany blok został wyposażony w zbiornik, napełniany wodą pobieraną z systemu. Poziom wody w zbiorniku określa objętość zużytej wody. Schemat podsystemu (bloku) symulacji poboru został przedstawiony na rys. 11.

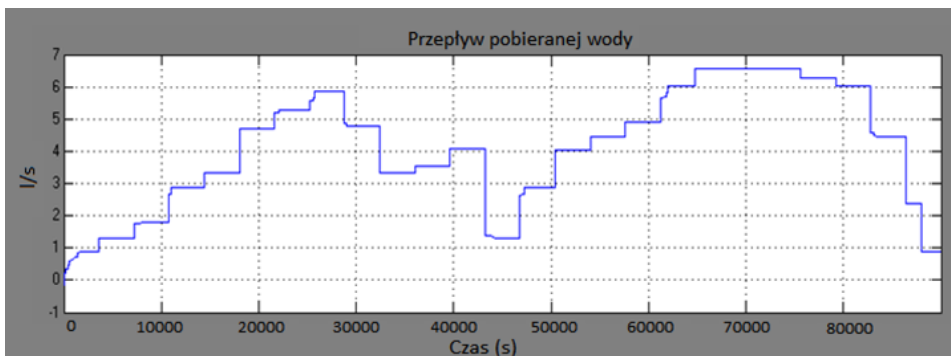


Rys. 11. Blok symulacji poboru wody

Dobowy harmonogram zużycia przedstawiony jest w postaci diagramu *State-flow*. Każdy z jego punktów określa zakres otwarcia zaworu. Jego zmiany wykonywane są co godzinę, w diagramie zdefiniowano dobowy cykl zużycia, powtarzany w miarę potrzeby. Synchronizacja czasowa bloku wykonywana jest za pomocą

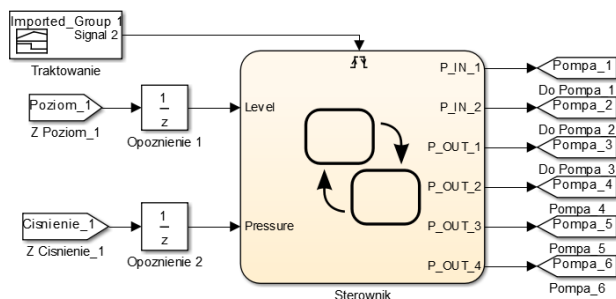
wejścia *clock*. Po osiągnięciu określonej godziny zmienna *Open* steruje poziomem otwarcia zaworu.

Na rys. 12 zaprezentowano wykres zmian przepływu wody, wymuszanego przez sterowany harmonogramem dobowego zużycia zawór poboru. Minimalne zużycie wody z systemu to 1 l/s, zaś maksymalne, generowane w godzinach szczytu to 6,5 l/s.



Rys. 12. Wykres dobowego zużycia wody

Sterowanie. Jest kluczowym elementem całego systemu. Jego architektura uwzględniająca magazynowanie i dystrybucję wody w oparciu o wykonany model, przedstawiono w postaci diagramu *Stateflow* na rys. 13. W sterowniku, za pomocą diagramu stanów zaimplementowano algorytmy opracowane do zarządzania całym systemem. Dane wejściowe są pozyskiwane z podsystemów analizy przepływu, poziomu oraz ciśnienia w rurociągu. Ponieważ dane wejściowe w momencie rozpoczęcia symulacji są równe zero, wartość parametrów systemu pojawia się ze wskazanym opóźnieniem. Sterownik został wyposażony w dodatkowe wejścia, na które podawane są polecenia włączenia lub wyłączenia pomp bądź zwiększenia ich prędkości obrotowej.



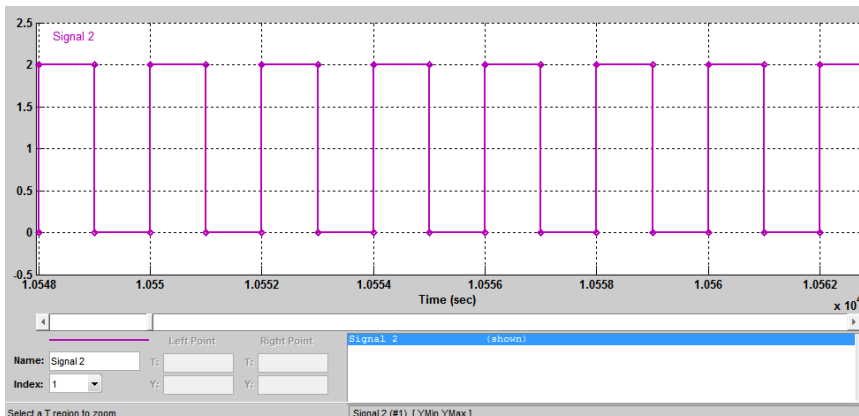
Rys. 13. Sterowanie

W tabeli 1 przedstawiono wszystkie zmienne wykorzystywane przez sterownik, wykorzystywane do przechowywania danych uzyskanych od układów pomiarowych oraz stanów pomp.

Tabela 1. Zmienne wykorzystywane przez sterownik

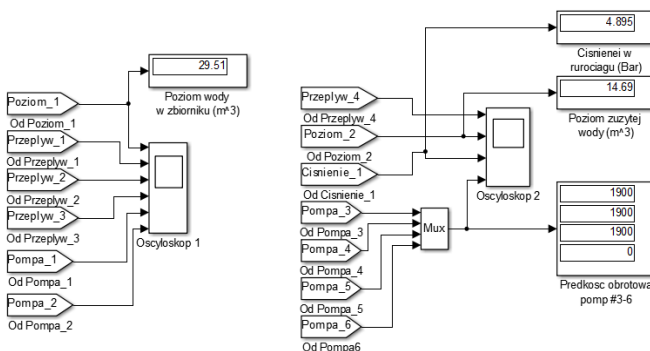
Nazwa zmiennej	Typ zmiennej	Port	Typ danych	Opis zmiennej
P_IN_1	Output	1	Przejęty z Simulink	Prędkość kątowna pompy #1
P_IN_2	Output	2	Przejęty z Simulink	Prędkość kątowna pompy #2
L1	Local		Boolean	Stan pompy #1 ujęcia wody (włączona/wyłączona)
L2	Local		Boolean	Stan pompy #2 ujęcia wody (włączona/wyłączona)
P_OUT_1	Output	3	Przejęty z Simulink	Prędkość kątowna pompy #3
P_OUT_2	Output	4	Przejęty z Simulink	Prędkość kątowna pompy #4
P_OUT_3	Output	5	Przejęty z Simulink	Prędkość kątowna pompy #5
P_OUT_4	Output	6	Przejęty z Simulink	Prędkość kątowna pompy #6
rpm	Local		int16	Prędkości kątowne pomp ujęcia wody
P	Local		double	Lokalna zmienna do przechowywania ostatniej wartości ciśnienia
Ph	Local		double	Lokalna zmienna do podania poziomu maksymalnego ciśnienia
PI	Local		double	Lokalna zmienna do podania poziomu minimalnego ciśnienia
delay	Local		int16	Czas próbkowania
RPMmax	Local		int16	Prędkość kątowna maksymalna
RPMmin	Local		int16	Prędkość kątowna minimalna
step	Local		int16	Krok zmiany prędkości pomp
Level	Input	1	Przejęty z Simulink	Poziom wody w zbiorniku
Pressure	Input	2	Przejęty z Simulink	Ciśnienie w rurociągu
TIMER	Input	1	Event	Sygnal taktujący

W celu określenia czasu pracy wykorzystywanych pomp oraz momentów próbkowania ciśnienia, w systemie wprowadzono zmienną czasu oraz wejście niezbędne do jej obsługi, reagujące na zdarzenia zewnętrzne. Na rys. 14 pokazano wygenerowany sygnał prostokątny o częstotliwości 1Hz, zastosowany do synchronizacji sterownika.



Rys. 14. Sygnał taktowania sterownika

Wizualizacja funkcjonowania. Wizualizacja danych funkcjonowania systemu jest jednym z najprzydatniejszych oferowanych jego funkcji. Bardzo często jest ona wyznacznikiem jego jakości. Do wizualizacji wykorzystano, będące na wyposażeniu programu, oscyloskopy, wyświetlacze danych liczbowych oraz multipleksery. Architektura takiego systemu, została przedstawiona na rys. 15. Elastyczność pakietu sprawia, że może być on rozbudowywany zgodnie z potrzebami użytkownika.



Rys. 15. System wizualizacji funkcjonowania

5. Podsumowanie

Zastosowany w badaniach program MATLAB – Simulink jest programowym narzędziem, pozwalającym precyzyjnie symulować dynamiczne systemy sterowa-

nia. Istotną zaletą programu jest jego interaktywność. Oznacza to, że w trakcie symulacji dopuszczalna jest zmiana parametrów modelowanego obiektu. Ponadto, w jej trakcie istnieje możliwość obserwacji procesów zachodzących w systemie. Służą do tego specjalne okna widoku, których obsługa funkcjonalna wchodzi w skład biblioteki Simulink. Interesujące użytkownika dane mogą być przedstawiane w postaci liczb oraz w formie graficznej.

Przeprowadzone symulacje pozwoliły w miarę precyzyjnie określić zachowanie modelu rzeczywistego systemu w trakcie jego normalnego funkcjonowania. Dzięki temu, już na etapie projektowania można przewidzieć zmiany optymalizujące dystrybucję wody. Zaproponowany model można rozbudować, w zasadzie bez żadnych istotnych ograniczeń.

Bibliografia

- [1] MathWorks, „Getting Started with MATLAB”, MathWorks, 2014.
- [2] Л. Васильев, А. Симак і В. Рыбникова, Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде MATLAB/Simulink, Київ: Національна академія наук України, 2008.
- [3] MathWorks, „<http://www.mathworks.com/>”, 06 06 2014. [Online].
- [4] И. Черных, Simulink: среда создания инженерных приложений, Москва: Диалог-Мифи, 2004.
- [5] А. Руппель, М. Сагандыков і А. Корытов, Моделирование гидравлических систем в MATLAB, Омск: СибАДИ, 2009.
- [6] Softline, „<http://matlab.exponenta.ru/>”, 06 06 2014. [Online].

ROZDZIAŁ 13

Spółeczeństwo informacyjne w gminie Sędziszów Małopolski

Janusz KOLBUSZ[♦], Jakub GAŹTARSKI[♦], Piotr HAJDER[♦]

[♦]*Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie*

[♦]*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl, Qba1989@wp.pl, Pioter.Hajder@gmail.com

Streszczenie

W pracy, scharakteryzowano społeczeństwo informacyjne oraz wykluczenie cyfrowe w gminie Sędziszów Małopolski. Zaprezentowano wyniki badań dostępności sieci Internet dla mieszkańców gminy oferowanej przez operatorów przewodowych i bezprzewodowych.

1. Wprowadzenie

Internet jest narzędziem coraz szerzej wykorzystywanym w różnorodnych obszarach życia społeczno-gospodarczego. Wciąż rosnąca część społeczeństwa – nie tylko w Polsce, ale i na całym świecie – wykorzystuje cyberprzestrzeń, zarówno w życiu prywatnym jak i zawodowym. Co więcej, dzięki zapewnieniu łatwej komunikacji, Internet stał się przestrzenią rynkową i biznesową, umożliwiając nawiązywanie nowych kontaktów z potencjalnymi klientami oraz kontrahentami, upraszczając świadczenie usług w skali ogólnokrajowej, a nawet ogólnoswiatowej.

Wprawdzie nowe technologie informacyjno-komunikacyjne w życiu społeczeństwa obecne są już od dłuższego czasu, wciąż istnieją bariery ograniczające dostęp do komputerów, w tym również do Internetu. W czasach współczesnych Internet cieszy się ogromną popularnością, można bezsprzecznie stwierdzić, że jego znaczenie w społeczeństwie będzie systematycznie rosnać. Wraz z rozwojem i ekspansją cyberprzestrzeni, powolnej przemianie ulega społeczeństwo, które wiele aspektów swojego życia m.in. pracę, rozrywkę, życie towarzyskie ściśle wiąże ze światem wirtualnym. W rezultacie, Internet staje się punktem, gdzie ludzie zaczynają realizować swoje potrzeby, jednocześnie uzależniając się od niego. Uzależnienie to, należy rozumieć, przede wszystkim, jako niezbędność posiadania dostępu do sieci internetowej. Implikuje to potrzebę zagwarantowania każdemu członkowi społeczeństwa dostępu do niej na równi z pozostałymi obywatelami, w przeciwnym przypadku pojawiać się będzie nadzwyczaj szkodliwe wykluczenie społeczne. Wspomniane wykluczenie to skutek zjawiska określanego terminem *wykluczenia cyfrowego*. Jest ono ogółem konsekwencji, jaki powoduje brak dostę-

pu do Internetu oraz umiejętności, wiedzy i kompetencji niezbędnych do swobodnego użytkowania komputera i czerpania korzyści jakie niesie ze sobą wykorzystanie nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych. Ich rozwój oraz rosnąca popularność Internetu przyczynia się do tego, iż zjawisko wykluczenia cyfrowego nabiera coraz to większego znaczenia. Należy podkreślić, że zjawisko to ma wybitnie negatywny charakter. Jego intensyfikacja powoduje powstawanie dysproporcji społecznych, nie tylko w obszarze zawodowym, ale również w życiu codziennym (trudności w podtrzymywaniu kontaktów i relacji z rodziną oraz znajomymi itp.).

Opierając się na wcześniejszych badaniach dotyczących rynku usług telekomunikacyjnych w Polsce, przygotowanych m. in. przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) [1] oraz Urząd Komunikacji Elektronicznej (UKE) [2], zauważamy że stopień dostępności i wykorzystania usług informacyjno-komunikacyjnych (ICT) przez osoby indywidualne jest w Polsce stosunkowo wysoki. Aż 96% badanych osób korzysta przynajmniej z jednej usługi ICT. Największą popularnością cieszą się telefony komórkowe, z których korzysta 88% osób. Na drugim miejscu znajdują się używane są zdecydowanie rzadziej domowe telefony stacjonarne. Korzystanie z nich deklaruje 31% badanych. Zgodnie z cytowanymi badaniami 4% przebadanych osób nie posiada żadnego telefonu, a około jedna czwarta (23%) dysponuje i korzysta z obydwu rodzajów telefonów. Analiza badań z kolejnych lat pokazuje zwiększanie się osób nieposiadających żadnego telefonu oraz kurczenie się rynku telefonów stacjonarnych. Z cytowanych badań wynika również, że 62% badanych osób posiada prywatny dostęp do sieci. Z Internetu stacjonarnego korzysta prawie połowa osób (46%), z dostępu mobilnego – 16% [2].

Mimo ciągłego wzrostu liczby użytkowników Internetu zarówno w woj. podkarpackim, jak i w całej Polsce, a także systematycznej rozbudowy infrastruktury teleinformatycznej, wykorzystanie sieci Internet jest ciągle zróżnicowane. Grupy społeczne podatne na wykluczenie cyfrowe możemy podzielić na:

1. *Osoby starsze, w tym emeryci i renciści*. Rzadko korzystają z Internetu, co najprawdopodobniej jest związane z brakiem niezbędnej wiedzy, skutkującym problemami z obsługą komputera. Jeżeli osoby z tej grupy wykorzystują Internet to, jak dowodzą badania, mają one dużo większe problemy z użyciem nawet standardowych usług niż młodszy użytkownicy. Tak znaczna różnica pokoleniowa w wykorzystaniu Internetu, może powodować powstawanie negatywnych zjawisk społecznych [3]. Jego znaczenie w różnych dziedzinach życia powoduje, że osoby niewykorzystujące jego potencjału mają bardzo ograniczone możliwości funkcjonowania w społeczeństwie. Niski stopień wykorzystania sieci będzie stanowił poważny problem społeczny, mający negatywny wpływ, m. in. na system emerytalny;
2. *Osoby posiadające niskie wykształcenie (podstawowe lub zawodowe)*. Znacznie rzadziej wykorzystują sieć Internet niż statystyczny przedstawiciel popu-

- lacji. W grupie tej korzysta z sieci zaledwie 10% osób, podczas gdy w grupie osób z wyższym wykształceniem korzysta z niej 89% ankietowanych;
3. *Osoby bierne zawodowo oraz bezrobotne.* Teoretycznie posiadają mniejsze szanse na dostęp do Internetu. Dostępne statystyki potwierdzają tę tezę tylko częściowo. Osoby bezrobotne są przeciętnymi użytkownikami Internetu w Polsce, zarówno pod względem intensywności wykorzystania, jak i posiadanych kompetencji. Wykorzystują go jednak mniej efektywnie, praktycznie wyłącznie do rozrywki, a bardzo rzadko w sposób, który mógłby zmienić ich sytuację zawodową i życiową. Osoby bierne zawodowo wypadają znacznie gorzej niż osoby bezrobotne – ich umiejętności pracy z siecią są znacznie mniejsze. Obie wspomniane grupy (bezrobotni oraz osoby bierne zawodowo) trudno uznać za wykluczone cyfrowo. W znakomitej większości posiadają one kontakt z Internetem, dysponują określonymi kompetencjami cyfrowymi i sprzętem, pozwalającymi wykorzystać sieć do poruszania się na rynku pracy;
 4. *Rolnicy i osoby zamieszkujące tereny wiejskie oraz mniejsze miasta.* Wszystkie znane badania potwierdzają, że powszechność dostępu do Internetu uzależniona jest od liczby osób zamieszkujących dany obszar – większa gęstość zaludnienia sprzyja asortymentowi oferowanych usług dostępowych. W większości przypadków, gęstość zaludnienia na terenach wiejskich jest wielokrotnie mniejsza niż w miastach. Pomimo tego, liczba użytkowników sieci Internet na wsi w latach 2007-2014 znacznie wzrosła. Sprzyja temu, obserwowany w ostatnim czasie, przepływ ludności aktywnej zawodowo z miast na tereny wiejskie. Zaniepokojenie budzi bardzo małe wykorzystanie Internetu jest przez rolników – używa go zaledwie co trzecia osoba pracująca w tym zawodzie. Warto też podkreślić, że wbrew panującemu przekonaniu, na terenach wiejskich aktywni zawodowo rolnicy są niewielką częścią mieszkańców. Uwzględniając wszystkie grupy zawodowe zamieszkałe na terenach wiejskich, ponad połowa osób korzysta z Internetu [3].

Wraz ze wzrostem znaczenia Internetu jako narzędzia wymiany informacji, coraz większym problemem staje się wykluczenie cyfrowe, które nadal obejmuje pewną część populacji. Wpływa ono na funkcjonowanie wykluczonych w społeczeństwie, bowiem osoby takie mogą być narażone na różnorodną dyskryminację, której negatywne skutki trudno jest przecenić. Aby wyrównać szanse prawidłowego funkcjonowania w ramach społeczeństwa informacyjnego ogółu osób, niezbędne jest pokonanie istniejących barier technologicznych i ekonomicznych poprzez zapewnienie nieograniczonego (technicznie i finansowo) dostępu do infrastruktury sieciowej tworzącej Internet.

Na obszarze gminy Sędziszów Małopolski pewna grupa osób dotknięta została problemem wykluczenia cyfrowego. Gmina nie oferuje dostępu do tzw. *hot spotów* zapewniających darmowe korzystanie z cyberprzestrzeni. Dlatego, wykluczeniem zostały dotknięte głównie osoby niezamożne.

2. Wykluczenie cyfrowe – definicje

Rosnące wykorzystanie technologii cyfrowych w najważniejszych dziedzinach życia gospodarczego, politycznego i kulturalnego jest bezspornym faktem. Globalny charakter powyższych zjawisk determinuje wzrost obaw związanych z pojawieniem się nowych nierówności, jak również ponowieniem i umocnieniem już istniejących. Zmiany te są częścią niezwykle szybkich przemian społecznych, które zapoczątkowane zostały przez rozwój społeczeństwa informacyjnego.

Technologie ICT posiadają coraz większe znaczenie w życiu codziennym całego społeczeństwa. Są one wykorzystywane nie tylko w pracy, edukacji czy konsumpcji, ale również w kulturze oraz rozrywce. Umiejętność odnajdywania informacji oraz swobodny dostęp do nich, niejednokrotnie jest fundamentalnym warunkiem uczestnictwa w życiu społecznym, różnego rodzaju wydarzeniach, i co ważniejsze, w wielu sektorach gospodarki jest wyznacznikiem znalezienia zatrudnienia. Rosnące znaczenie technologii informacyjno-komunikacyjnych powoduje, że osoby które nie wykorzystują ICT mogą zmagać się z różnorodnymi problemami. Osobom takim będzie coraz trudniej funkcjonować we współczesnym świecie, w którym stale rosnąca liczba spraw ma wyłącznie wymiar cyfrowy. W związku z powyższym, odrzucenie przez niektóre osoby technologii ICT, staje się coraz większym problemem społecznym. W niniejszym rozdziale wiele uwagi poświęcono wykluczeniu cyfrowemu, postrzeganemu jako jeden z najważniejszych problemów z obszaru ekonomii i praw obywatelskich.

Wykluczenie cyfrowe (ang. *digital divide*) może być postrzegane jako dystans pomiędzy osobami, które posiadają dostęp do nowych technologii ICT, a tymi które takiego dostępu nie mają [4]. Pojęcie wykluczenia cyfrowego definiowane jest nie tylko jako różnica w dostępie, ale także jako nierównomierność poziomu umiejętności korzystania z Internetu pomiędzy osobami przynależącymi do różnej płci, grupy wiekowej lub społecznej oraz mieszkającymi w różnych regionach kraju. Wykluczenie uznawane jest za zjawisko wielowymiarowe, które może przyczyniać się do powstawania szeregu niekorzystnych zjawisk społecznych i ekonomicznych. Wykluczenie jako pojęcie teoretyczne, wyłoniło się ze znanego znacznie wcześniej wykluczenia społecznego i jest konsekwencją szybkiego rozwoju technologii informacyjno-komunikacyjnych, a także dysproporcji w dostępie do nich. Warto zauważyć, iż bazując na opinii szerokiej grupy ekspertów zajmujących się tym zjawiskiem, wykluczenie cyfrowe jest bezpośrednio powiązane z wykluczeniem społecznym. Obecnie ma ono bardziej charakter socjalny, aniżeli cyfrowy [5]. Dlatego, walka z wykluczeniem powinna w pierwszej kolejności eliminować ubóstwo.

Znanych jest wiele alternatywnych definicji wykluczenia cyfrowego. W większości opierają się one na cechach, którymi dysponuje wykluczenie. Poszczególne definicje można przyporządkować do trzech poniższych grup [6]:

1. Definicje nawiązujące do determinizmu technologicznego, skupiającego się na ujęciu materialnym oraz zerojedynkowym rozumieniu pojęcia dostęp.

Wykluczenie cyfrowe rozumiane jest jako różnica między podmiotami mającymi dostęp do technologii informacyjno-komunikacyjnych oraz tymi, które takiego dostępu nie posiadają. Do kategorii tej zaliczana jest większość klasycznych definicji wykluczenia;

2. Definicje, akcentujące znaczenie obszarów, w którym pionierskie technologie ICT są szeroko wykorzystywane przez użytkowników. Uwzględniają one nierówności w dostępie, a także w czerpaniu korzyści z ich użytkowania. Do danej kategorii można uwzględnić definicję zaproponowaną przez Rice'a. Zgodnie z nią, wykluczenie cyfrowe to zróżnicowanie pod względem dostępu i wykorzystania Internetu, w zależności od płci, posiadanego majątku i dochodów, rasy oraz miejsca zamieszkania [7]. Inna zaliczana do tej grupy definicja, opiera się na założeniu, że wykluczenie cyfrowe to różnica pomiędzy poziomem skomputeryzowania, charakterystycznego dla różnych grup społecznych. W szczególności, różnice te dotyczą swobody dostępu do Internetu oraz komputera, a także dysponowania umiejętnościami obsługi i efektywnego korzystania z tychże narzędzi i technologii [8]. Do danej kategorii zaliczane są również definicje dotyczące podziału wykluczenia cyfrowego na dwa poziomy. Pierwszy z nich odnosi się do tradycyjnego, powszechnego i binarnego rozumienia dostępu do komputera oraz cyberprzestrzeni. Drugi poziom uwzględnia różnice w umiejętnościach związanych z korzystaniem z tychże narzędzi i technologii. Zgodnie z taką definicją, osoby wykluczone cyfrowo są to osoby nieposiadające dostępu do technologii oraz kompetencji niezbędnych do ich obsłużenia [8];
3. Definicje, których twórcy traktują wykluczenie cyfrowe kompleksowo. Zgodnie z nimi, dostęp współzależny jest od posiadania niezbędnej infrastruktury, urządzeń komputerowych połączonych z globalną siecią oraz czynników ekonomicznych, kulturowych i organizacyjnych, a także od poziomu posiadanych umiejętności. Do powyższej kategorii zaliczana jest definicja zaproponowana przez Castells'a [9]. Zgodnie z nią wykluczenie jest podziałem podmiotów, przedsiębiorców, instytucji, regionów i społeczeństwa, posiadających materialne i kulturowe warunki do istnienia w cyfrowym świecie, które jednak nie są w stanie przystosować się do gwałtownie zachodzących zmian. Podobną definicję wykluczenia cyfrowego, wykorzystuje Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (ang. *Organisation for Economic Co-operation and Development* – OECD). Określa ona wykluczenie jako dysproporcje pomiędzy jednostkami, gospodarstwami domowymi, regionami gospodarczymi oraz geograficznymi, które funkcjonują na odmiennych poziomach społecznych i ekonomicznych, różniących się stopniem dostępu do nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych oraz zakresem wykorzystania Internetu jako wielofunkcyjnego narzędzia.

Jednoznaczne zdefiniowanie wykluczenia cyfrowego nie jest zadaniem prostym. Poszerzenie i rozwój wiedzy w obszarach pokrewnych wiąże się ze zmianą po-

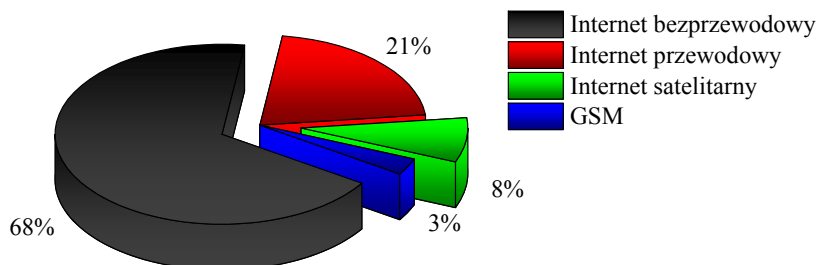
strzegania i interpretowania wykluczenia. W rezultacie, proste i jasne określenie wykluczenia jest niemożliwe, bowiem wszelkie zmiany wywołane rozwojem technologii ICT przeobrażają również wykluczenie, którego forma i postać ściśle zależą od otoczenia [10]. Analizując ostatnie kilka lat, dochodzimy do paradoksalnego wniosku, że osoby jeszcze niedawno określane mianem pionierów ICT, mogą być obecnie zaliczane do grupy wykluczonej cyfrowo. Wystarczy, aby nie rozwijały one swoich umiejętności oraz pozostały na niezmiennym poziomie dostępu i obsługi narzędzi informatycznych. Z tego powodu, nadzwyczaj istotne jest stwierdzenie, że zmiany w definicjach i postrzeganiu wykluczenia cyfrowego, które pojawiły się w ostatnich latach, nie są skutkiem braku precyzji, ale efektem rewolucyjnych zmian w technologii. Dlatego też, w miejsce kreowania sztywnego opisu tego zjawiska konieczne jest elastyczne podejście do kwestii wykluczenia.

3. Społeczeństwo informacyjne w województwie podkarpackim

Województwo podkarpackie leży w południowo-wschodniej części Polski, od południa graniczny ze Słowacją, ze wschodu z Ukrainą. Powierzchnia, jaką zajmuje województwo wynosi 17,8 tys. km². Jest to 11 miejsce w kraju, Podkarpacie stanowi 5,7% powierzchni Polski. Województwo składa się z 21 powiatów i 4 miast na prawach powiatu. Na jego terenie znajduje się 46 miast i 2 164 miejscowości wiejskie oraz 160 gmin [11]. Liczba mieszkańców województwa podkarpackiego wynosi około 2,1 mln osób (9 miejsce w Polsce). Według najnowszych danych GUS, średnia życia w województwie jest najwyższą w Polsce i wynosi odpowiednio: mężczyźni 73 lata (Polska 71), kobiety 81 lat (Polska 80). Na długowieczność mieszkańców regionu decydujący wpływ mają: czyste środowisko, zdrowy styl życia oraz niski poziom stresu. Województwo podkarpackie jest jednym z pięciu polskich województw (obok małopolskiego, mazowieckiego, pomorskiego i wielkopolskiego), w których systematycznie wzrasta liczba ludności.

W 2012 roku produkt krajowy brutto woj. podkarpackiego wynosił 62,4 mld zł, co stanowiło tylko 3,9% produktu Polski. Produkt krajowy brutto na 1 mieszkańca był równy 29,3 tys. zł i stanowił 70,0% średniej krajowej. Plasowało woj. podkarpackie na ostatnim miejscu względem innych województw. Przeciętne miesięczne wynagrodzenie mieszkańca woj. podkarpackiego w 3 kw. 2011 roku wynosiło 3074 zł co lokowało je na 15 miejscu wśród wszystkich województw [11].

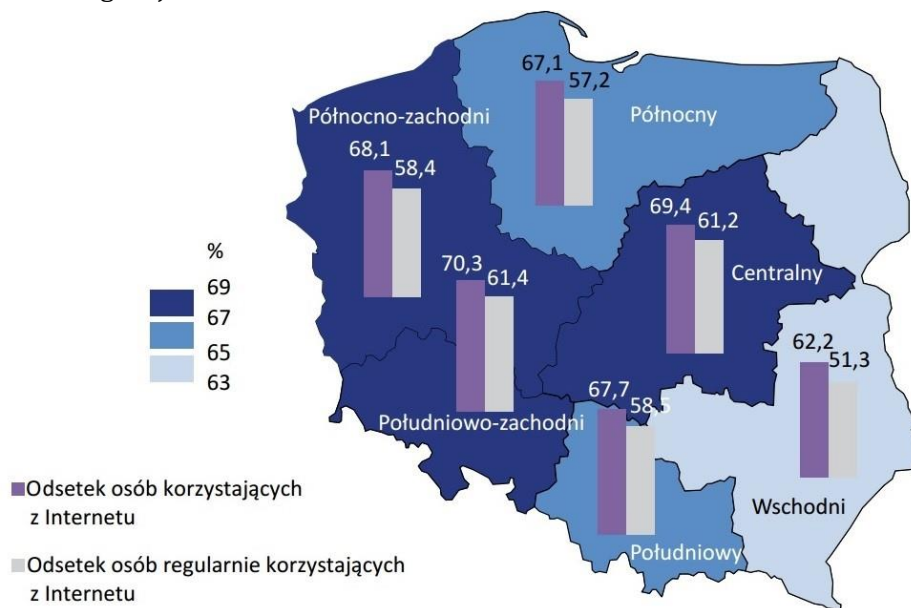
Na terenie woj. podkarpackiego działa wielu operatorów oferujących dostęp do Internetu bezprzewodowego, przewodowego oraz satelitarnego. Liczba dostawców jest względnie duża i wynosi 199 operatorów [12], [13]. Operatorów, którzy udostępniają Internet przewodowy jest niewielu, tylko 46, Internet bezprzewodowy w oparciu o technologie Wi-Fi i pokrewne oferuje 152 operatorów, satelitarny – 17, a Internet szerokopasmowy GSM – 8 operatorów. Procentowy udział różnych technologii dostępu do sieci, przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Procentowy udział różnych technologii dostępu do sieci Internet w woj. podkarpackim

W Polsce, korzystanie z komputera jest popularne. Największy odsetek gospodarstw domowych, posiadających komputer występuje w północno-zachodniej części kraju i wynosi 74,5%. Pod względem liczby osób wykorzystujących komputer dominuje region Południowo-zachodni z wynikiem 72,7%, pod względem regularnego wykorzystywania – region Centralny z rezultatem 63,9 %. Najniższy odsetek osób korzystających i regularnie korzystających z komputerów, zanotowano w regionie Wschodnim, do którego należy m. in. woj. podkarpackie

Na rys. 2 pokazano poziom korzystania z Internetu w gospodarstwach domowych według województw.



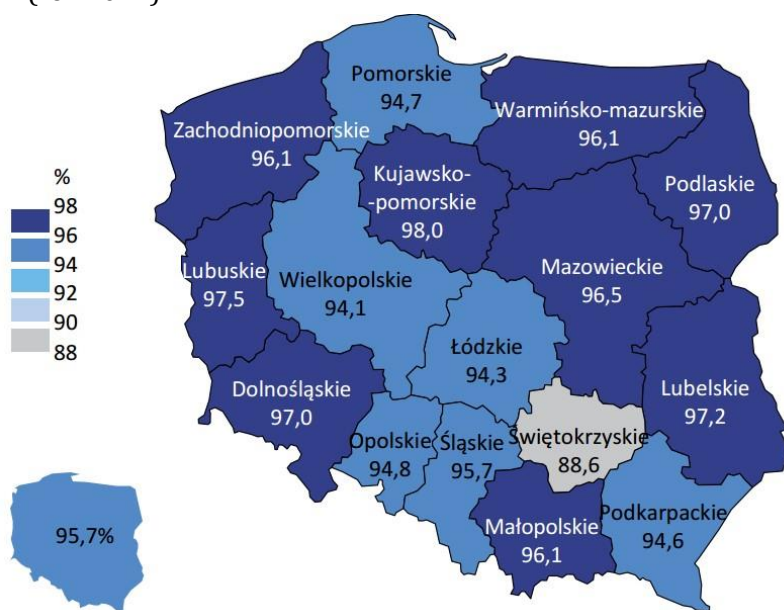
Rys. 2. Poziom wykorzystania Internetu w gospodarstwach domowych.

Źródło: http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/nts_spolecz_inform_w_polsce_2007-2011.pdf, 10.05.14

Pod względem liczby osób korzystających z Internetu oraz osób regularnie wykorzystujących Internet dominował region Południowo-zachodni, gdzie wskaźni-

ki były na poziomie 70,3% i 61,4%. Najniższe wskaźniki odnotowano w regionie Wschodnim (w tym w woj. podkarpackim), gdzie wynosiły one odpowiednio 63,8%, 62,2% oraz 61,3%. Największy odsetek gospodarstw domowych, które posiadają dostęp do Internetu, występuje w regionie Północno-zachodnim, wynosi 68,8%.

Pod względem wykorzystania technologii ICT przez przedsiębiorstwa, woj. podkarpackie nie znajduje się w czołówce krajowej co przedstawiają rys. 3 (rok 2011) oraz rys. 4 (rok 2012).

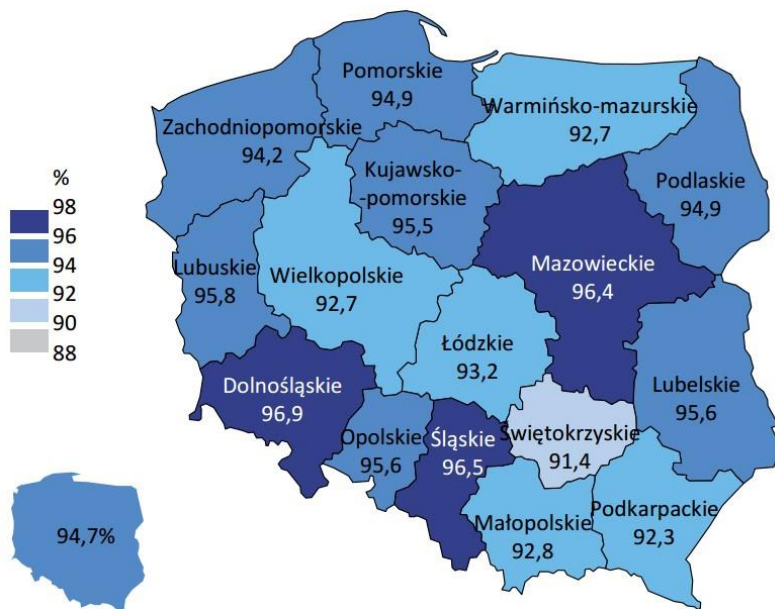


Rys. 3. Wykorzystanie komputerów przez przedsiębiorstwa w 2011 roku.

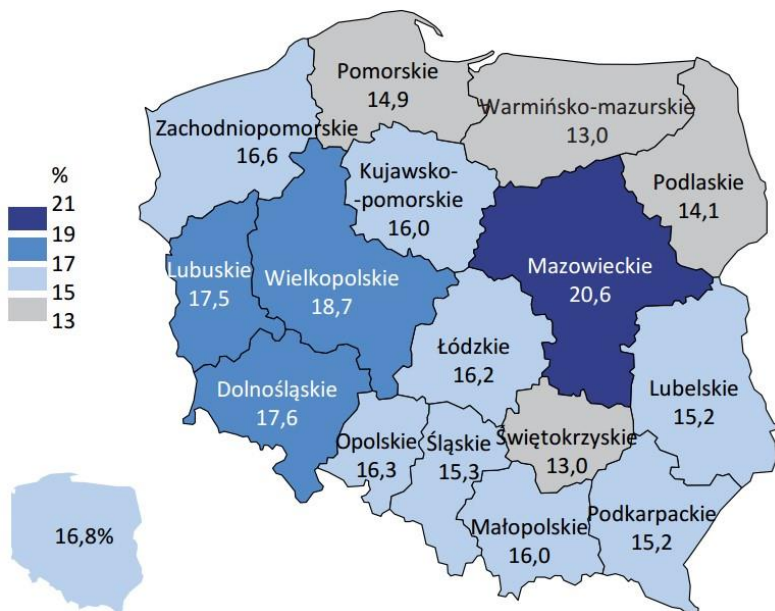
Źródło: http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/nts_spolecz_inform_w_polsce_2008-2012.pdf, 10.11.14

W roku 2011 wskaźnik wykorzystania komputerów przez przedsiębiorstwa w Polsce był stosunkowo wysoki – kształtował się na poziomie 96% średniej Unii Europejskiej. W woj. podkarpackim komputery wykorzystywało 94,6% przedsiębiorstw, co daje wyniki zbliżone do innych województw. Jednak w roku 2012, we wszystkich województwach odnotowano spadek. W woj. podkarpackim wyniósł on aż 2,3%, przez co województwo spadło na przedostatnie miejsce względem innych regionów kraju.

Nadal znaczna część przedsiębiorców napotyka bariery ograniczające lub uniemożliwiające wykorzystanie ICT. Jak pokazano na rys. 5, najmniejsze bariery w dostępie do Internetu sygnalizowane są w woj. warmińsko-mazurskim oraz świętokrzyskim – zgłasza je 13% ankietowanych. Największe problemy występują w woj. mazowieckim 20,6%. Województwo podkarpackie kształtuje się na poziomie średniej ogólnopolskiej, analizowany odsetek wynosi bowiem 15,2%.



Rys. 4. Poziom wykorzystania komputerów przez przedsiębiorstwa w 2012 roku.
 Źródło: http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/nts_spolecz_inform_w_polsce_2008-2012.pdf,
 10.05.14



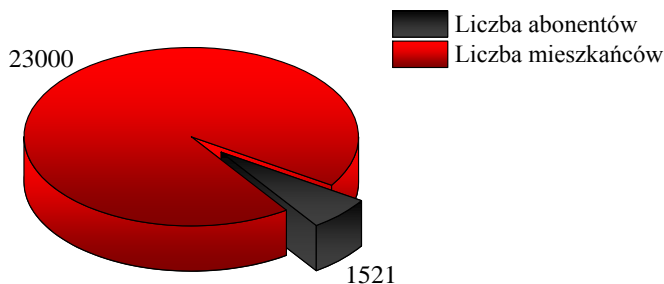
Rys. 5. Bariery i ograniczenia w dostępie przedsiębiorstw do Internetu.
 Źródło: http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/nts_spolecz_inform_w_polsce_2008-2012.pdf,
 10.05.14

Na terenie woj. podkarpackiego dostęp do bezpłatnych *hot spotów* zapewnia tylko kilka powiatów, co może skutkować wykluczeniem cyfrowym osób uboższych.

4. Internet w gminie Sędziszów Małopolski

Gmina Sędziszów Małopolski jest położona w środkowo-zachodniej części woj. podkarpackiego, na terenie powiatu ropczycko-sędziszowskiego. Obszar gminy zajmuje powierzchnię 154 km², co stanowi 28% całej powierzchni powiatu. Liczba ludności gminy to około 23 000, w tym około 7 400 w Sędziszowie Młp. – jedynym mieście. Gminę tworzą następujące miejscowości: Będziemyśl, Boreczek, Borek Wielki, Czarna Sędziszowska, Cierpisz, Góra Ropczycka, Kawęczyn Sędziszowski, Kłęczany, Krzywa, Ruda, Szkodna, Wolica Ługowa, Wolica Piaskowa, Zagorzyce Dolne oraz Zagorzyce Górne.

Na terenie analizowanej gminy, wszystkie sołectwa oraz miasto, mają dostęp do telefonii przewodowej oferowanej przez dwóch głównych operatorów: Orange (dawniej Telekomunikacja Polska S.A.) oraz firmę Multimedia S.A. Dostępność usług telekomunikacyjnych ocenia się jaką wysoką, każdy mieszkaniec może zostać podłączony do telefonii przewodowej oraz Internetu. Na terenie gminy w miejscowościach: Będziemyśl, Kłęczany oraz Sędziszów Małopolski, znajdują się nadajniki operatorów telefonii komórkowej: Orange, Plus, Play, T-Mobile. Wygoda oraz ceny telefonii komórkowej, które są znacznie tańsze od usług telekomunikacji przewodowej, spowodowały spadek liczby abonentów korzystających z sieci przewodowych w stosunku do 2004 roku o ponad 20%. Przykładowo, w Sędziszowie Małopolskim z usług przewodowych Multimedia S.A. w 2013 roku korzystało 253 abonentów, z usług Orange – 1268 [14]. Relacje pomiędzy liczbą abonentów telefonii przewodowej a liczbą mieszkańców pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Liczba abonentów w stosunku do liczby mieszkańców

Z badań wynika, że w Gminie do Internetu przyłączonych jest ponad 59% gospodarstw domowych. Większość osób, korzystających z dostępu to osoby w wieku od 15 do 24 lat. Drugą najliczniejszą grupę stanowią osoby w wieku od 24 do 39 lat. Największa grupa nieposiadająca dostępu do Internetu to osoby powyżej 59 lat co motywowane jest znacznymi kosztami dostępu, obawą o swoje bezpieczeństwo oraz brakiem takiej potrzeby.

Coraz większą popularność wśród użytkowników zdobywa stały dostęp bezprzewodowy, oferowany przez operatorów telefonii komórkowej. Sieci komórkowe rozwijają się bardzo dynamicznie na obszarze całego kraju, w swoich ofertach posiadają coraz to szybsze połączenia i już obecnie są wybierane najczęściej przez nowych abonentów.

5. Analiza sieci bezprzewodowych w gminie Sędziszów Małopolski

Analiza sieci bezprzewodowych na obszarze gminy Sędziszów Małopolski, została wykonana w oparciu o badania własne, dzięki którym uzyskane zostały informacje o 1275 punktach dostępu do sieci bezprzewodowych oraz przewodowych. Dla każdej z sieci, określono lokalizację nadajnika, standard funkcjonowania oraz wykorzystywane zabezpieczenia komunikacji.

Otrzymane wyniki, podzielono względem sposobu dostępu na dwie grupy: dostęp przewodowy i bezprzewodowy. W gminie zlokalizowano 854 wydzielone sieci bezprzewodowe oraz 421 sieci przewodowych. Wśród sieci bezprzewodowych dominują technologie Wi-Fi i pokrewne. Do najczęściej wykorzystywanych standardów zaliczono:

1. Standard G (802.11g), charakteryzujący się maksymalnym transferem na poziomie 54Mb/s oraz częstotliwością pracy 2,4 GHz. Standard ten wykorzystuje 689 urządzeń dostępowych i jest on w Gminie najpopularniejszy;
2. Standard N (802.11n) jest uważany obecnie za najpopularniejszy na świecie standard sieci Wi-Fi. Pozwala na przesyłanie plików z prędkością od 150Mb/s do 600Mb/s. Funkcjonuje on w oparciu o częstotliwości 2,4 GHz oraz 5 GHz. Na terenie Gminy zdecydowana większość urządzeń opiera się na standardzie 2,4 GHz. Standard 802.11n wykorzystuje 519 urządzeń;
3. Standard B (802.11b) jest przestarzałym rozwiązaniem. Umożliwia on przesyłanie danych z maksymalną prędkością do 11Mb/s, wykorzystując do tego częstotliwość 2,4 GHz. Na obszarze Gminy, standard ten wykorzystują zaledwie 64 urządzenia;
4. Standard A (802.11a) praktycznie nie jest już wykorzystywany. Pozwala on na osiągnięcie transmisji z szybkością do 54Mb/s. Opiera się na częstotliwości 5 GHz. W Gminie wykorzystuje go tylko 3 urządzenia.

Liczbę sieci zlokalizowanych w gminie Sędziszów Małopolski, bazujących na opisanych wyżej standardach, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Standardy wykorzystywane na terenie Gminy

Standardy sieci bezprzewodowych	Liczba sieci
802.11a	3
802.11b	64
802.11g	689
802.11n	519

Informacje przetwarzane i przesyłane w sieciowych systemach informacyjnych są coraz cenniejsze. Dlatego, oprócz badań dotyczących wykorzystywanych standardów sieci bezprzewodowych, przeprowadzono identyfikację stosowanych sposobów zabezpieczeń. Na terenie Gminy, z punktu widzenia metod ochrony, wyróżniono poniższe trzy typy sieci:

1. *Sieci niezabezpieczone*. Niestety, stanowią one znaczną część wśród eksploatowanych. Badania pokazały, że ich udział w ogóle funkcjonujących wynosi aż 87%. Stwarza to ogromne zagrożenie dla bezpieczeństwa użytkowników, w szczególności ich danych;
2. *Protokół WPA/WPA2* (ang. *Wi-Fi Protected Access*). Obecnie, najczęściej wykorzystywany na świecie protokół bezpieczeństwa sieci bezprzewodowych. Dominuje on również w gminie Sędziszów Małopolski;
3. *Protokół WEP* (ang. *Wired Equivalent Privacy*). Jeden z pierwszych protokołów zabezpieczeń, dostępny praktycznie na każdym urządzeniu. Charakteryzuje się niskim poziomem zapewnianego bezpieczeństwa. W sieciach Gminy, wykorzystywany stosunkowo często.

Protokoły szyfrowania wykorzystywane w sieciach zlokalizowanych na terenie gminy Sędziszów Małopolski przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wykorzystywane protokoły szyfrowania sieci bezprzewodowych

Protokół szyfrowania	Liczba sieci
Open	302
WEP	214
WPA/WPA2	662

Na terenie gminy Sędziszów Małopolski umieszczono pięć nadajników sieci GSM. Wszyscy operatorzy udostępniają Internet o podobnych parametrach na bazie zbliżonych technologii. Usługi te obejmują swym zasięgiem prawie całą Gminę. W chwili obecnej, znaczna część obszaru Gminy pokryta jest dostępem w technologii LTE.

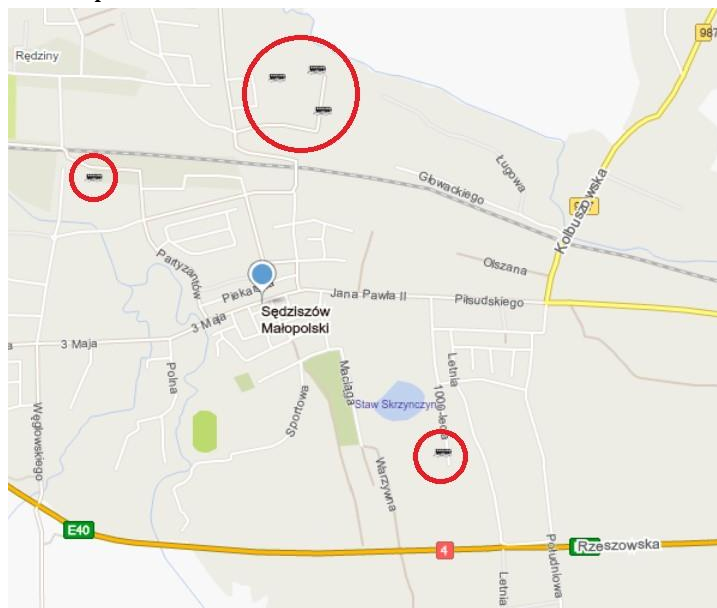
6. Analiza sieci GSM na terenie gminy Sędziszów Małopolski

Aktualnie dla szeregu lokalizacji, wykorzystanie Internetu zapewnione jest za pośrednictwem lokalnych punktów dostępowych, będących własnością zarówno osób prywatnych, stowarzyszeń, jak i firm komercyjnych. W dominującej części, punkty te funkcjonują w oparciu o technologię sieci Wi-Fi, na bazie których tworzone są lokalne sieci dostępu. Sieci te są zintegrowane z siecią Internet za pomocą kanałów szerokopasmowych, oferowanych przez dostawców komercyjnych. Jakość oferowanych usług jest dla większości użytkowników satysfakcjonująca, zarówno przepustowość jak i stopa błędów oraz opóźnienia znajdują się na akceptowalnym poziomie. Podstawowym problemem sieci tego typu jest potrzeba po-

siadania szybkiego i niezawodnego łącza szerokopasmowego. Niestety, oferta obecnych w Gminie dostawców komercyjnych jest daleko niezadowalająca.

Ogólnoświatową tendencją w obszarze sieci dostępowych jest aktualnie szerokie wykorzystanie technologii mobilnych oraz komórkowych. Najpopularniejszym standardem jest system GSM (ang. *Global System for Mobile Communications*) i jego różne implementacje [15]. Ponieważ ewolucja systemów telekomunikacyjnych jest procesem ciągłym, cały czas trwają prace badawcze i wdrożeniowe w zakresie nowych standardów. Obecnie dominują sieci w standardzie 3G, jednak wszyscy operatorzy wdrażają usługi czwartej generacji (LTE). Należy jednak pamiętać, że operatorzy sieci komórkowych są przedsiębiorstwami komercyjnymi. Dlatego, pokrycie obszaru Gminy nowymi usługami zależeć będzie od zainteresowania nimi jej mieszkańców. Trudno zatem oczekiwać, że nowymi usługami będzie pokryty cały obszar gminy.

Na rys. 7 przedstawiono rozmieszczenie nadajników sieci GSM, na terenie gminy Sędziszów Małopolski.



Rys. 7. Mapa rozmieszczenia nadajników BTS.

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://mapa.targeo.pl/BTS-Sedziszow-Malopolski/kategoria/2566/0974937>, 16.05.14

W Gminie zlokalizowano pięć nadajników BTS operatorów sieci komórkowych. Udostępniają one Internet z wykorzystaniem tych samych technologii i obejmują swym zasięgiem prawie całą gminę. W związku z pofałdowaniem terenu gminy część miejscowości leży w wąwozach, przez co dostęp do sieci GSM jest utrudniony, czasami niemożliwy.

7. Podsumowanie

Społeczeństwo informacyjne w gminie Sędziszów Małopolski jest względnie rozwinięte. Nie odbiega ono od poziomu w innych gminach woj. podkarpackiego. Komputer wraz z dostępem do Internetu posiada ponad 60% mieszkańców Gminy, z czego ponad 68,3%, korzysta z dostępu za pomocą sieci bezprzewodowych, pozostała część, w oparciu o infrastrukturę kablową. Przepustowość wykorzystywanych sieci bezprzewodowych zależy od zastosowanego standardu oraz odległości pomiędzy odbiornikiem i nadajnikiem sygnału i zazwyczaj jest daleka od wartości maksymalnych oferowanych przez technologię. Na obszarze Gminy najszerzej wykorzystywane prędkości dostępu bezprzewodowego znajdują się w przedziale od 256 kbps do 6 Mb/s. Zdaniem dostawców usług internetowych jest to spowodowane brakiem łączy zewnętrznych o wyższych przepustowościach. Oferowane prędkości pozwalają na względnie komfortowe przeglądanie stron internetowych, odbieranie poczty, pobieranie plików. Uwzględniając tendencje ogólnoswiatowe oraz zalecenia Komisji Europejskiej, oferowane przepustowości są niesatysfakcjonujące i wymagają kilkukrotnego zwiększenia.

W przypadku dostępu do Internetu poprzez infrastrukturę kablową, oferowane przepustowości są znacznie większe i zawierają się w przedziale od 512 kb/s do 20Mb/s. Podobnie jak w przypadku sieci bezprzewodowych, dostępne szybkości zależą od odległości urządzenia do centrali oraz dodatkowo, od jakości wykorzystywanego okablowania. Osoby wykorzystujące zarówno łącza przewodowe jak i bezprzewodowe, w większości nie są zadowolone z przepustowości oferowanych przez dostawców. Jako wartość ich satysfakcjonującą najczęściej wskazują 50Mb/s. Przeprowadzone badania oraz analizy pokazały również, że na terenie gminy Sędziszów Małopolski preferowany jest dostęp bezprzewodowy, w tym z zastosowaniem technologii GSM. Preferencje te znajdują odzwierciedlenie w funkcjonujących i budowanych sieciach, ich infrastruktura swym zasięgiem obejmują prawie cały teren Gminy.

Wykluczenie cyfrowe w Gminie, w zasadzie, nie jest konsekwencją braku technicznych możliwości przyłączenia abonenta do sieci Internet – w każdym jej punkcie istnieje możliwość odpłatnego korzystania z sieci, jednak nie zawsze z jakością satysfakcjonującą użytkownika. Niestety, gminę Sędziszów Małopolski zamieszkuje znaczna liczba osób starszych o niskich dochodach. Bardzo często, osoby te nie posiadają wiedzy niezbędnej do obsługi komputera i Internetu. Ponadto, poziom ich dochodów jest niewystarczający do zakupu komputera i pokrycia opłat za korzystanie z sieci. W podobnej sytuacji znajduje się część osób bezrobotnych i biernych zawodowo. W odróżnieniu o wielu innych gmin i powiatów, gmina Sędziszów Małopolski nie oferuje swoim mieszkańcom darmowego dostępu do sieci Internet. Wykorzystanie na terenie gminy Internetu socjalnego Aero2 jest z przyczyn technicznych dość ograniczone.

Obecnie, na terenie całego woj. podkarpackiego finalizowana jest budowa, finansowanej ze środków Unii Europejskiej, sieci szerokopasmowej. Inwestycja ta

obejmuje również gminę Sędziszów Małopolski, dzięki czemu, zgodnie z zapewnieniami Urzędu Marszałkowskiego Województwa Podkarpackiego, mieszkańcy będą mieli dostęp do bardzo szybkiego i taniego Internetu. Dzięki niej, może zostać pobudzona konkurencja pomiędzy operatorami co przyczyni się do poprawy jakości i asortymentu usług.

W celu poprawy poziomu życia osób starszych, władze samorządowe powinny rozważyć uruchomienie wypożyczalni sprzętu komputerowego dla seniorów oraz zapewnienie im dostępu do dedykowanego Internetu socjalnego. Celowym jest również uruchomienie bezpłatnych szkoleń dla tej grupy mieszkańców. Działania takie pozwoliłyby poprawić status seniorów, a dłuższej perspektywie wydłużyć czas ich aktywności.

Bibliografia

- [1] G. U. S. (GUS), „Społeczeństwo informacyjne w Polsce. Wyniki badań statystycznych z lat 2009-2013,” <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/spoleczenstwo-informacyjne/spoleczenst>, Warszawa, 2013.
- [2] U. K. E. (UKE), „Rynek usług telekomunikacyjnych w Polsce. Badanie klientów indywidualnych 2012,” https://www.uke.gov.pl/files/?id_plik=12342, Warszawa, 2012.
- [3] A. P. D. Batorski, „Diagnoza i rekomendacje w obszarze kompetencji cyfrowych społeczeństwa i przeciwdziałania wykluczeniu cyfrowemu w kontekście zaprogramowania wsparcia w latach 2014-2020,” Warszawa, 2012.
- [4] M. E., „Breaking the Digital Divide: Implications for Developing Countries,” *Common-wealth Secretariat*, 2002.
- [5] K. E. Arendt Ł., „Wykluczenie cyfrowe na rynku pracy,” IPISS, Warszawa, 2010.
- [6] Ł. Arendt, „Wykluczenie cyfrowe w małych i średnich przedsiębiorstwach,” Instytut Pracy i Spraw Socjalnych, Warszawa, 2009.
- [7] R. Rice, *Primary Issues in Internet Use*, London – Thousand Oaks: Handbook of New Media, 2002.
- [8] K. M. W. B. W. R. Fong E., *Correlates of the Digital Divide: Individual, Household and Spatial Variations*, University of Toronto: Department of Sociology, 2001.
- [9] M. Castells, *The Internet Galaxy. Reflections in the Internet, Business, and Society*, Oxford: Oxford University Press, 2002.
- [10] K. E. K.-D. I. Arendt Ł., *Przeciwdziałanie wykluczeniu cyfrowemu na Mazowszu – Priorytety strategiczne*, Warszawa: IPISS, 2011.
- [11] „http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/l_powierzchnia_i_ludnosc_przekroj_terytoryalny_2013.pdf,” [Online].
- [12] „<http://www.dostawcy-internetu.pl/oferta/Podkarpackie.html>,” [Online].
- [13] „<http://www.firmy.net/dostawcy-internetu.podkarpackie.html>,” [Online].
- [14] „

2013strategia.pdf,” [Online].

- [15] H. E., Second-Level Digital Divide: Differences in People’s Online Skills, First Monday, 2002.
- [16] „<http://www.gsma.com/aboutus/gsm-technology/gsm>,” [Online].
- [17] A. Ł., Wykluczenie cyfrowe w małych i średnich przedsiębiorstwach, Warszawa: Instytut Pracy i Spraw Socjalnych, 2009.

ROZDZIAŁ 14

Badanie efektywności ataków socjotechnicznych w jednostkach samorządu terytorialnego

Mariusz NYCZ, Bartosz MICHNO, Rafał MLICKI

Politechnika Rzeszowska

MNycz@prz.edu.pl, BMichno91@gmail.com, RMlicki@stud.prz.edu.pl

Streszczenie

W rozdziale przedstawiono analizę podatności na ataki socjotechniczne w lokalnej siedzibie samorządu terytorialnego. Autorzy rozpoczynają rozdział od wprowadzenia w zagadnienia związane z socjotechniką i ich wpływ na bezpieczeństwo informacyjne. W kolejnych paragrafach zaprezentowano metodykę badań określenia podatności na ataki socjotechniczne. Badania bazują na testach penetracyjnych i ankiecie, w której poruszono problemy bezpieczeństwa informacji na poziomie zarówno podstawowym jak i bardziej rozbudowanym. Wyniki ankiety dały podstawy do zbudowania przybliżonych profili ankietowanych wraz z poziomem ich podatności na określone zagrożenia socjotechniczne. W celu porównania wyników, przeprowadzono również badania na innej grupie użytkowników. Ze względów bezpieczeństwa ankieta oraz jej bezpośrednie wyniki nie będą ujawniane.

1. Wprowadzenie

Socjotechnika może mieć wiele różnych definicji w zależności od książki, którą ją opisuje lub osoby z którą prowadzi się rozmowę. Definicja, którą można znaleźć w słowniku Oxfordu brzmi:

Zastosowanie zasad socjologicznych do konkretnych problemów społecznych...

Pomimo, że porusza istotną część, definicja ta jest daleka od trafnego wytłumaczenia czym współcześnie jest socjotechnika. Inna definicja głosi:

Sztuka celowego manipulowania zachowaniem przy użyciu specjalnie stworzonych technik komunikacji.

Ta definicja ogranicza socjotechnikę do absolutnych podstaw wykorzystujących komunikację we wszystkich możliwych formach w celu wykorzystania czynnika ludzkiego. Gdziekolwiek zachodzi interakcja, tam występuje potencjał dla socjotechniki. Socjotechnika więc liczy sobie tyle samo lat co komunikacja.

Instytut SANS zaproponował bardziej poprawną definicję:

Socjotechnika to sztuka wykorzystania ludzkich zachowań do złamania zabezpieczeń bez spostrzeżenia przez uczestnika (lub ofiarę), że zostali oni zmanipulowani.

Ważną częścią tej definicji jest kontekst, w jakim pojęcie to jest stosowane. Socjotechnikę można zdefiniować jako techniki stosowane do uzyskania informacji lub manipulowania zachowaniem lecz nie ma to odniesienia w kontekście bezpieczeństwa informacji. Jeśli chodzi o zabezpieczenie ważnych firmowych danych socjotechnika staje się:

Sztuka pozyskiwania wrażliwych informacji i/lub manipulacji osób w określony sposób mający na celu złamanie zabezpieczeń.

Można się sprzeczać, że pozyskiwanie wrażliwych informacji samo w sobie jest złamaniem zabezpieczeń lecz w definicji chodzi np. o włamanie do sieci, złamanie fizycznych zabezpieczeń lub obie sytuacje naraz.

Zauważając, że w poprzedniej definicji użyto słowa „sztuka”, można zadać pytanie: czy socjotechnika jest formą sztuki? Według autorów [1], odpowiedź brzmi tak. Socjotechnika nie jest do końca nauką i często występuje w niej kreatywne myślenie. Socjotechnika nie może być zredukowana jednak do prostego określenia: „jeśli zestaw akcji A, to potem B”.

Techniki socjotechniczne mają na celu wykorzystanie „luk” raczej w ludzkiej naturze, a nie w systemach komputerowych. W wielu artykułach o bezpieczeństwie lub nawet w powieściach używano określeń „human hacking” lub „hacking software”. Osoba używająca metod socjotechnicznych używa niezliczonych technik w celu manipulacji do swoich celów, od wywierania wpływu na ludzkie emocje aż po logicznie sformułowaną strukturę ataku i dostosowywanie się pod daną osobowość. Jednakże socjotechnika nie ogranicza się do tricków psychologicznych. Atakujący może stwarzać całe scenariusze, którymi będzie podpierał swoje akcje. Scenariusze te mogą być dzielone na wiele następujących po sobie etapów [1].

Możliwe, że jednymi z osób najlepiej stosujących socjotechnikę są sprzedawcy handlowi. Przeciętny handlowiec ma jeden cel: sprzedać produkt lub usługę klientowi. W osiągnięciu celu sprzedawca nie zadaje klientowi prostych pytań, czy chciałby coś kupić, a raczej wykorzysta wszystkie możliwe opcje aby wpłynąć na jego decyzję. Dobrym przykładem może być użycie otwartych pytań zamiast zamkniętych, które kończą się prostymi odpowiedziami „tak” lub „nie”. Dla przykładu, sprzedawca może zapytać: „Jaką ilość chciałby Pan zakupić?” zamiast „Czy chciałby coś Pan zakupić?” lub „Jak mogę panu pomóc?” zamiast „Czy mogę Panu pomóc?”.

Istnieją nawet modele i metodologie skupione wyłącznie na obejściu zastrzeżeń klienta przy zakupie. Najlepsi sprzedawcy uważnie przestudiują wymagania klienta i jego samego, znajdując wspólne tematy do rozmowy. Powołując się na np. sukcesy w grze w tenisa, można zdobyć zaufanie klienta, który również obraca się wokół tego sportu. Taki wstępny rekonesans wygląda tak samo w przypadku ataku socjotechnicznego: profilowany jest np. zakres działalności firmy lub pro-

wadzone przez nią badania. Atakujący stara się zebrać jak najwięcej informacji. Każdy strzępek zwiększa szansę na powodzenie ataku.

Dodatkowo atakujący może przypisywać sobie fałszywą tożsamość – przez podszywanie się pod inną osobę może zdobywać pewne informacje do swoich celów. Handlowiec z poprzedniego przykładu, może wykonać bezpośredni telefon do odpowiedniego działu firmy i podać się za jednego z pracowników. Uzyskane stąd informacje pozwolą na stworzenie punktu zaczepienia w jego procesie sprzedaży. Osoba korzystająca z metod socjotechnicznych również skontaktuje się z firmą. Jedyną różnicą między handlowcem a nim jest cel zdobycia tych informacji – atakujący użyje ich do stworzenia metody socjotechnicznego ataku na daną firmę.

Stąd można powiedzieć, że to handlowiec stanowi najlepszego „inżyniera społecznego”, ze swoją naturalną pewnością siebie, pozytywnym nastawieniem i doświadczeniem w wywieraniu wpływów. Ich celem jest sprzedanie produktu lub pomysłu. Jeśli jednak koncept zmienia się ze sprzedawania na podawanie swojego hasła, lepiej mieć się na baczności [1], [2], [3].

Obecnie ataki wykorzystujące socjotechnikę stają się coraz popularniejsze. Według firmy *Check Point Software Technologies*, 32% odpowiadających na sondaż stwierdziło, że byli świadkami około 25 ataków socjotechnicznych [4]. W *Verizon Data Breach Investigations Report* za 2013 rok, socjotechnika stanowiła aż 29% wszystkich włamań. Z tych ataków metody typu phishing stanowiły aż 71%. Jest to czterokrotny wzrost w porównaniu do roku 2012 [5].

2. Typy ataków socjotechnicznych

W socjotechnice występuje wiele różnych typów ataków. W zależności od potrzeby typy ataków mogą być kreowane na bieżąco, ulepszone bądź też łączone ze sobą. Jednak większość z nich bazuje na znanych popularnych typach. Oto niektóre z nich:

Kradzież urządzeń mobilnych. Najstarszy typ ataku. W czasach, gdy urządzenia przenośne nabierają coraz większego znaczenia i stają się coraz bardziej popularne, ten typ ataku okazuje się być jednym z najbardziej skutecznych. Prawdopodobieństwo sukcesu rośnie w firmach, gdzie wdrożona jest polityka BYOD.

Shoulder-surfing. Najprostszy typ ataku. Atakujący stara się monitorować fizyczną aktywność użytkownika i jego urządzenia. Atakujący może monitorować ekran, klawiaturę lub ruchy rąk w celu przechwycenia prywatnych informacji.

Monitorowanie sieci. Monitorowanie sieci może ukazać typy usług najczęściej używane przez użytkowników. Poprzez ich identyfikację atakujący może rozpocząć rekonesans zabezpieczeń danej usługi i przeprowadzić ewentualny atak.

Digital dumpster diving. Co raz krótszy czas życia urządzeń elektronicznych z racji postępującego rozwoju technologii sprawia, że przestarzałe urządzenia

w składowiskach np. elektrośmieci mogą mieć pozostawione w swojej pamięci prywatne i poufne dane.

Phishing. Przeważnie związany z fałszywymi stronami oraz wiadomościami e-mail. W przypadku fałszywych wiadomości e-mail, atakujący używa nieprawdziwej tożsamości internetowej w celu oszukania odbiorcy [1], [6].

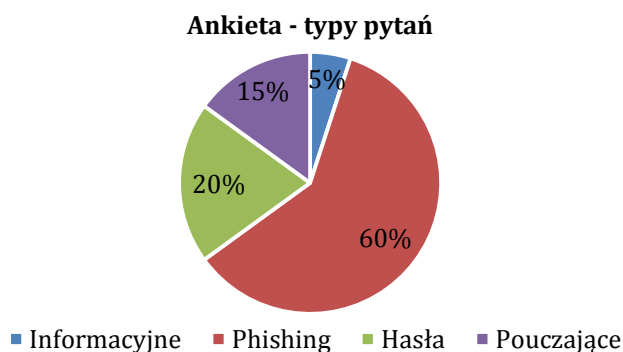
3. Metodyka badań

Badania zostały podzielone na dwie części. W pierwszej użytkownicy wypełnili ankietę, na podstawie której zostały wytypowane trzy kilkuosobowe grupy biorące udział w testach penetracyjnych z wykorzystaniem narzędzia Social Engineering Toolkit. Kryterium podziału na grup był stopień bezpieczeństwa określony dla badanych użytkowników. Powstała więc grupa o niskim, średnim i wysokim stopniu bezpieczeństwa. Pozwoliło to zbadać wpływ wiedzy teoretycznej na faktyczny stopień podatności na ataki socjotechniczne. Dla porównania wyników ankietę przeprowadzono również w sieci bezprzewodowej firmy PowerNet. Badanie było całkowicie anonimowe.

4. Ankieta

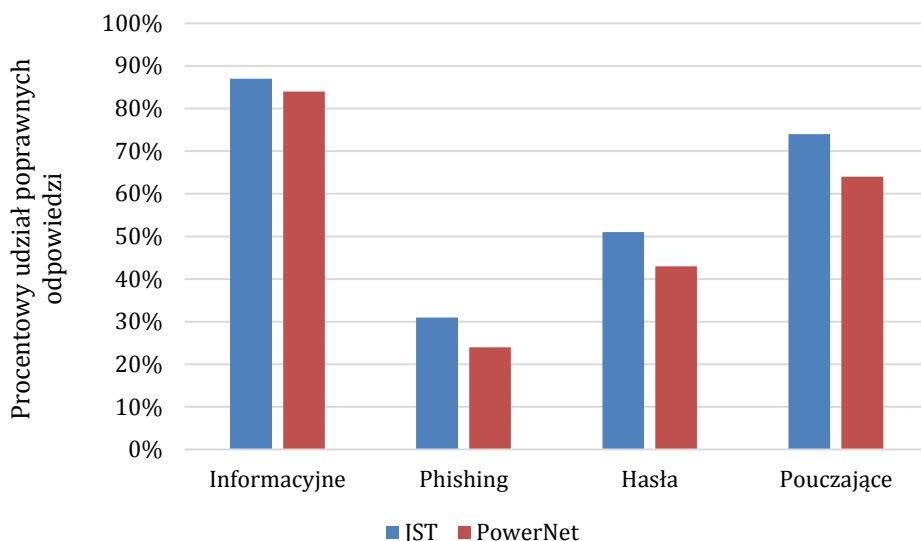
Ankieta została umieszczona na specjalnej witrynie przeznaczony do ankietowania użytkowników. Znajdowała się ona pod prywatnym linkiem URL, niedostępnym z poziomu publicznego dla wyszukiwarek i użytkowników nieznających pełnego adresu.

Ankietowani odpowiadali na ponad 20 pytań. Niektóre z nich miały charakter pouczający, sugerujący prawidłową odpowiedź. Pytania te były nieliczne i znajdowały się na końcu ankiety. Pytania wstępne zawierały podstawowy zestaw typowej ankiety dotyczącej tematów informatycznych. Pytano w niej o system operacyjny oraz rodzaj używanej przeglądarki internetowej. Poniżej znajdują się cechy ankiety przedstawione na wykresach.



Rys. 1. Procentowy udział pytań w ankiecie

Wyniki ankiet przedstawione na rys. 2, jednoznacznie informują, że poziom wiedzy w przypadku pracowników samorządów jest nieznacznie większy w porównaniu z użytkownikami domowymi.



Rys. 2. Prezentacja wyników ankiety dla Jednostek Samorządu Terytorialnego (JST) i użytkowników bezprzewodowej sieci PowerNet

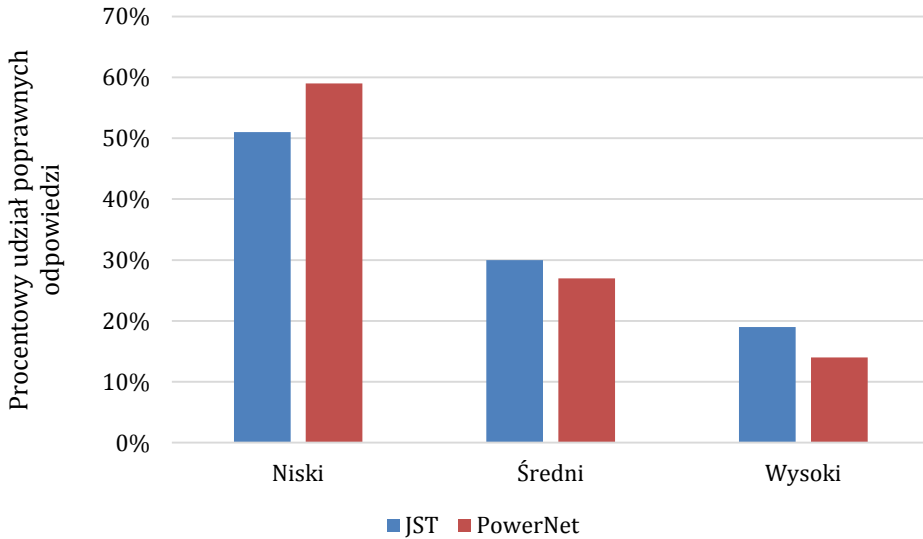
5. Testy penetracyjne

Testy penetracyjne są obecnie jedną z najskuteczniejszych metod weryfikowania zabezpieczeń, w którym testujący przeprowadzają symulowane ataki realizowane w czasie rzeczywistym. Uzyskane informacje pozwalają określić, które elementy systemu są podatne na ataki stosowane powszechnie przez napastników.

Testowanie zostało przeprowadzone na wyselekcjonowanej grupie respondentów. Selekcja została przeprowadzona na podstawie wyników ankiety, z której wyłoniono 15 osób i przydzielono je do trzech grup z wynikami odpowiednio:

- poniżej 40% poprawnych odpowiedzi (niski poziom odporności),
- od 41% do 70% (średni poziom odporności),
- powyżej 70% (wysoki poziom odporności).

Przynależność do poszczególnych grup w jednostce samorządu terytorialnego oraz lokalnego operatora internetowego, ilustruje poniższy wykres:



Rys. 3. Klasyfikacja poziomów dla JST i użytkowników sieci PowerNet

Testy zostały przeprowadzone przez administratorów w badanych jednostkach zgodnie z uprzednio przygotowaną instrukcją oraz oprogramowaniem. Poszczególne składniki testów to:

1. Exploit związany z przestarzałą i nieaktualną wersją środowiska Java, zainstalowanego na komputerze z systemem Windows;
2. Wiadomości e-mail korzystające z fałszywej tożsamości bądź wykorzystujące załącznik ze złośliwą zawartością;
3. Strona internetowa podszywająca się pod znany portal internetowy, przesyłająca wpisane poświadczenia użytkowników;
4. Wykorzystanie luki w starej wersji przeglądarki Internet Explorer,
5. Opis rozmowy telefonicznej wyłudzającej informacje;
6. Wykorzystanie luki w nieaktualnym systemie operacyjnym Windows.

Do wykonania testów użyto m. in. narzędzia SET [6].

Po przeprowadzonych badaniach wyniki zebrano i uporządkowano przypisując im mniejsze lub większe znaczenie pod względem skuteczności w badanej grupie. Tabela poniżej przedstawia wagi wyrażone w punktach dla każdego typu testu penetracyjnego. Wartość maksymalna - 5, oznacza, że grupa jest najbardziej podatna na określony atak.

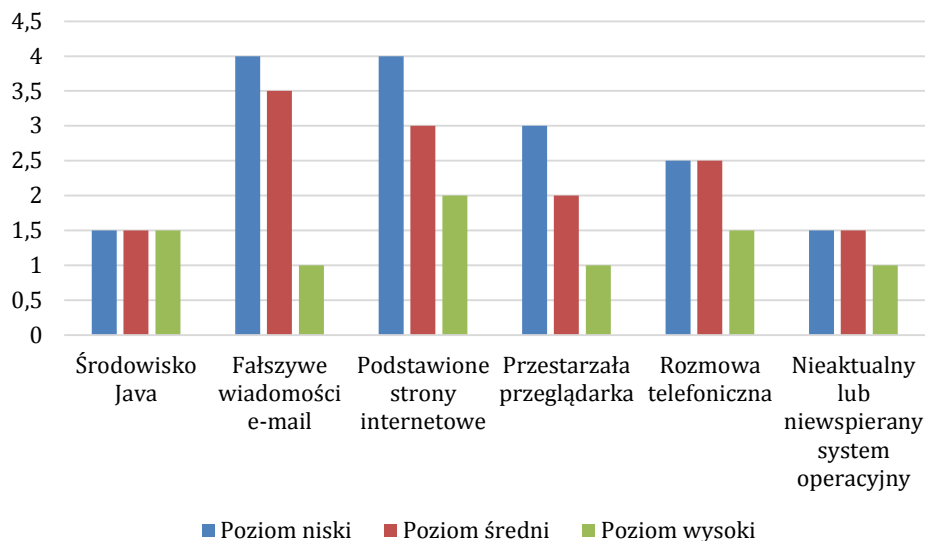
Na uwagę zasługują punkty przydzielone środowisku Java. We wszystkich grupach stopień podatności jest taki sam. Jest tak dlatego, ponieważ atak na Javę nie miał szerokiego wyboru narzędzi i obejmował tylko jedną metodę. Obierała sobie ona na cel jedną lukę w tym środowisku, stąd w każdej grupie wyniki są podobne.

Tabela 1. Klasyfikacja podatności z uwzględnieniem zdefiniowanych wag

Typ zagrożenia	Podatność w pkt (maks. 5)		
	Grupa najniższa	Grupa średnia	Grupa najwyższa
Środowisko Java	1,5	1,5	1,5
Fałszywe wiadomości e-mail	4	3,5	3,5
Podstawione strony internetowe	4	3	3
Przestarzała przeglądarka	3	2	2
Rozmowa telefoniczna	2,5	2,5	2,5
Nieaktualny lub niewspierany system operacyjny	1,5	1,5	1,5

Z kolei znacznie bardziej zróżnicowane są podatności na np. ataki związane z phishingiem. Ataki te można wykonywać na setki różnych sposobów, stąd podatność w każdej grupie jest słabsza lub większa.

Ostateczne wyniki w jednostce samorządu prezentują się na wykresie poniżej.

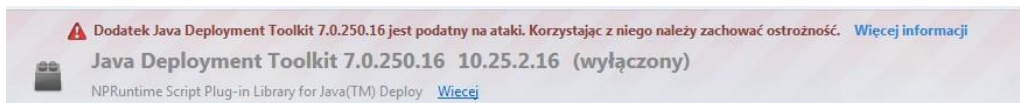


Rys. 4. Wyniki testu.

6. Opis metodyki realizacji testu

Informacje przedstawione w tej sekcji opisują kolejno metody oszustw socjotechnicznych stosowanych w ankiecie i w testach penetracyjnych. Nie wszystkie z nich są czysto socjotechniczne, ale przenoszone są z wykorzystaniem ataków socjotechnicznych. W takich przypadkach socjotechnika jest dopiero pierwszym etapem przeprowadzania ataku, a właściwe wykorzystywanie luk bezpieczeństwa występuje jako faza druga.

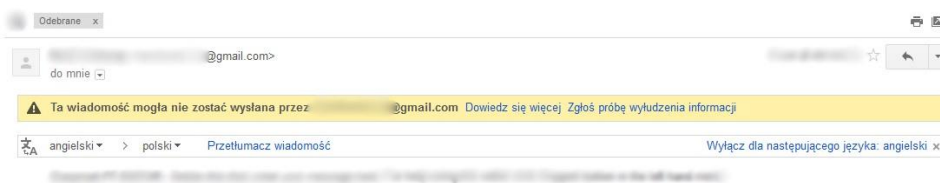
Ataki z spreparowanym apletem Java. Z przeprowadzonej analizy wynika, że najwięcej użytkowników może być narażonych na ataki związane ze środowiskiem programistycznym Java. Java jest bardzo popularnym oprogramowaniem wśród internautów – często wymagana jest do poprawnego wyświetlania stron internetowych. W przeglądarkach internetowych Java występuje pod postacią wtyczek włączanych na żądanie. W nowszych wersjach przeglądarek wtyczki te wyłączane są automatycznie. Jedną z nich, Mozilla Firefox, informuje użytkownika o niebezpieczeństwie związanym z użytkowaniem Javy.



Rys. 5. Wbudowane zabezpieczenia w przeglądarce Firefox dot. Javy

Niektóre aplikacje, ze względu na konieczność obsługi wielu platform systemowych są napisane w Javie. Jest ona wobec tego środowiskiem bardzo podatnym na ataki, ponieważ większa uniwersalność ułatwia wyszukiwanie luk. Java jest również oprogramowaniem bardzo skomplikowanym. Wbrew pozorom również umożliwia to nadużywanie Javy w celu łamania jej systemów bezpieczeństwa (im bardziej *rozległe* oprogramowanie, tym większa szansa natrafienia na ewentualną lukę). Atak na Javę może zostać przeniesiony np. w załącznikach wiadomości e-mail.

Fałszywe wiadomości e-mail. Kolejną metodą ataku, na którą podatni byłiby użytkownicy rozwiązujący ankietę to wiadomości e-mail, gdzie nadawca używa fałszywej tożsamości. Wiadomości te wyglądają bardzo autentycznie. Istnieje wiele metod uwiarygodniania takich e-maili. Jedną z nich jest adres nadawcy – wykorzystuje się łatwe do przeoczenia literówki. Drugim sposobem jest wysyłanie wiadomości ze specjalnych generatorów wiadomości (najczęściej strony www). Cechą takich generatorów jest to, że oprócz podania adresata wiadomości podaje się również adres nadawcy. Generator oszukuje serwery pocztowe i przesyła taką wiadomość dalej. Niektóre serwisy pocztowe, np. Gmail są w stanie wykryć większość takich oszustw i wyświetlają stosowne ostrzeżenie dla użytkownika [7].



Rys. 6. Ostrzeżenie w usłudze Gmail

To ostrzeżenie jest wyświetlane, gdy nadawca twierdzi, że wysłał wiadomość z Gmaila, ale nie może to być potwierdzone. Można na przykład otrzymać e-maila pochodzącego rzekomo z adresu support@gmail.com, który w rzeczywistości nie został wysłany z Gmaila. Wszystkie wiadomości wysyłane z tej usługi powinny

zawierać dane uwierzytelniania, które pozwalają na weryfikację tego, czy wiadomość została wysłana z Gmaila. Jeśli jest wyświetlany komunikat ostrzegawczy, który informuje, że wiadomość mogła nie zostać wysłana przez użytkownika Gmaila, oznacza to, że brakuje w niej danych uwierzytelniania [8].

Podstawione strony internetowe. Sfabrykowane strony internetowe wykorzystują identyczny lub do złudzenia podobny wygląd oryginalnej witryny. Z autentycznej strony zachowany został tylko układ elementów, a faktyczna funkcjonalność strony to przesyłanie wpisanych poświadczeń użytkownika (login, hasło, inne) do atakującego.

Oszustwa telefoniczne. Podobnie jak w przypadku wiadomości e-mail, kluczem jest tutaj podstawiona tożsamość. Oszustwo może ułatwić fakt samej rozmowy telefonicznej, która odbywa się „w locie”. W przeciwieństwie do e-maili, gdzie treść wiadomości można analizować wiele razy po odebraniu, w rozmowie telefonicznej czas na namysł jest ograniczony. Sprzyja to skuteczności ataku w przypadku rozmowy kreowanej na nagły i niespodziewany przypadek, wymagający szybkiej interwencji użytkownika.

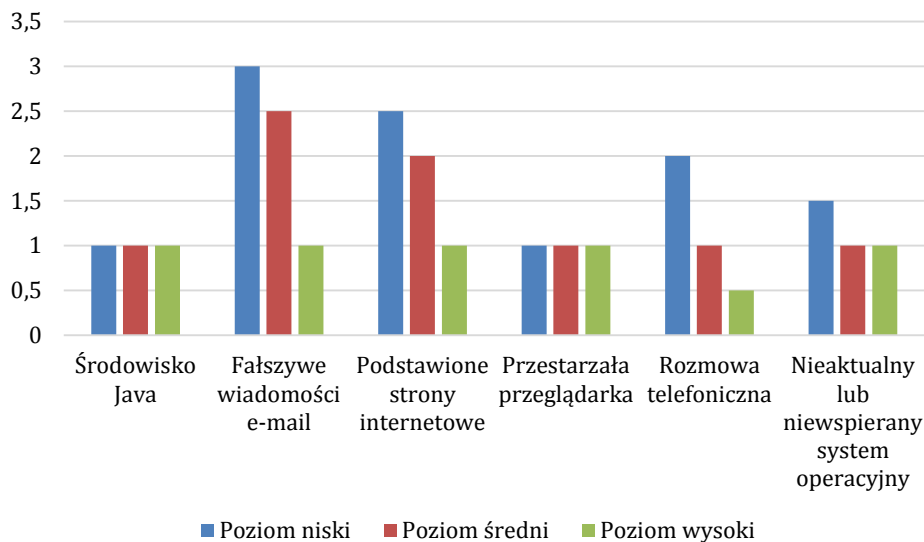
Stare wersje przeglądarki Internet Explorer. Pewna część użytkowników ciągle używa wersji Internet Explorer, która jest przestarzała. Wersja wspomnianej przeglądarki o numerze 7 została wydana siedem lat temu. Z kolei wersja 8 swoją premierę miała pięć lat temu. Przeglądarka Microsoftu jest bardzo chętnie atakowanym oprogramowaniem – wśród internautów znana jest z ilości luk w bezpieczeństwie. Korporacja często wydaje aktualizacje typu security do IE i stara się niwelować braki.

Według raportu firmy *Bromium Endpoint Exploitation Trends H1 2014* [9] za pierwszą połowę 2014r., liczba luk i zagrożeń w Internet Explorerze (w porównaniu do 2013r.) jako jedyna wzrosła. Inne programy wymieniane tutaj zanotowały poprawę bezpieczeństwa i liczba zagrożeń ich dotyczących drastycznie spadła.

System operacyjny. Ten problem dotyczy użytkowników korzystających z systemu Microsoft Windows XP. System przestał być wspierany w kwietniu 2014 r. Microsoft przestał wydawać aktualizacje bezpieczeństwa dla tego systemu. Czyni to go podatnym na ataki typu „zero day” – poważne luki bezpieczeństwa, nieznanne do czasu pierwszego ataku z nią w roli głównej. Jeśli taka luka zostanie odkryta, deweloperzy Microsoftu nie zapewnią już łatki bezpieczeństwa.

7. Szkolenie

W ciągu trzech miesięcy od przeprowadzenia ankiety i testów penetracyjnych, w badanych obiektach przeprowadzono szkolenie, obejmujące zagadnienia wykorzystywane w ankiecie i testach penetracyjnych. Zauważono wzrost świadomości użytkowników oraz przeprowadzono kolejne testy penetracyjne (tylko w jednostce samorządowej). Po analizie wyników okazało się, że testy wykonane po szkoleniu dały lepsze wyniki, zilustrowane na wykresie poniżej.



Rys. 7. Wyniki testu po przeprowadzonym szkoleniu

Podatność na określone grupy ataków istotnie się polepszyła. Należy zauważyć m. in.:

1. Podział na grupy nie został zmieniony – obowiązywał taki jaki wyłoniony był po pierwszych testach;
2. W przypadku środowiska Java, przeglądarek internetowych i systemów operacyjnych poziom podatności polepszył się i mniej więcej wyrównał; dzieje się tak, ponieważ dbanie o aktualizacje programów i systemów operacyjnych przeważnie nie leży w gestii użytkowników, a administratorów; administratorzy jednostki samorządowej również brali udział w szkoleniach, a po wyeliminowaniu przestarzałego software'u i aktualizacjach, na wszystkich stacjach roboczych występował podobny zbiór programów (i ich wersji), przez co liczba zagrożeń, na które są one podatne stoi na mniej więcej tym samym poziomie [10], [11].

8. Wnioski

Najczęstszymi obiektami ataków socjotechnicznych są pracownicy firm, instytucji. To pracownicy często nieświadomi, niedoszkoleni lub posiadający specjalne przywileje, „atrakcyjne” z punktu widzenia dla atakującego. Ofiarą ataków mogą paść też pracownicy kluczowych działów instytucji.

Co sprzyja atakom socjotechnicznym? Niska świadomość użytkowników to najpoważniejszy powód. Dlatego tak ważne jest wykonywanie okresowych szkoleń pracowników (zalecane jest przeprowadzanie ich 1–2 razy w roku) [12].

Jednoznacznie można stwierdzić, że socjotechnika to najniebezpieczniejsza forma ataków na bezpieczeństwo z racji swojej natury. Ponieważ socjotechnika nadużywa cech ludzkich, np. zaufania, nie ma możliwości obrony przed nią tylko i wyłącznie za pomocą hardware'u i software'u.

Obecnie nie są dostępne rozwiązania, które mogłyby zapobiec atakowi socjotechnicznemu. Można jedynie zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia udanego ataku poprzez:

1. Wdrożenie polityki haseł dla instytucji;
2. Politykę klasyfikacji danych: z danych przepływających przez instytucję wybiera się te najbardziej istotne i stosuje się środki mające na celu chronienie ich;
3. Prowadzenie audytu wewnętrznego bezpieczeństwa informacji przetwarzanych w systemie teleinformatycznym;
4. Ograniczenie dostępu do sieci społecznościowych dla pracowników;
5. Administracyjne zarządzanie aktualizacjami oprogramowania i systemu operacyjnego;
6. Kształtowanie świadomości użytkowników poprzez nieustanne doszkalanie [1], [12].

Bibliografia

- [1] G. Watson, A. Mason i R. Ackroyd, *Social Engineering Penetration Testing*, USA: Elsevier, 2014.
- [2] E. Nyamsuren i H. Choi, *Preventing Social Engineering in Ubiquitous Environment*, IEEE Xplore Digital Library.
- [3] I. Kotenko, M. Stepashkin i E. Doynikova, *Security Analysis of Information Systems taking into account Social Engineering Attacks*, IEEE Xplore Digital Library.
- [4] „http://www.cleveland.com/business/index.ssf/2012/10/social_engineering_is_a_growin.html”, 20 10 2012. [Online].
- [5] „<http://www.phishingbox.com/verizon-data-breach-investigations-report-summary/>”, 08 10 2013. [Online].
- [6] N. Pavkovic i L. Perkov, *Social Engineering Toolkit - A Systematic Approach To Social Engineering*, IEEE Xplore Digital Library.
- [7] E. Rabinovitch, *Staying protected from social engineering*, IEEE Communications Magazine, September 2007.
- [8] „https://support.google.com/mail/troubleshooter/2411000?p=sent_warning&rd=1”, 17 06 2014. [Online].
- [9] „<http://www.bromium.com/sites/default/files/bromium-h1-2014->

threat_report.pdf", 23 07 2014. [Online].

- [10] B. Michno, M. Nycz i P. Hajder, „Social engineering-penetration testing”, in *Computer Science for the Information Society*, tom Vol. 5, Lugansk, 2014, pp. Vol. 5, pp. 93-97.
- [11] R. Mlicki, M. Nycz i R. Korostenskyi, „Social engineering-analysis of vulnerability”, w *Computer Science for the Information Society*, Lugansk, 2014, pp. Vol. 5, pp. 97-100.
- [12] L. Larabee, S. B. David, C. R. Neil i H. M. Craig, *Analysis and De-fensive Tools for Social-Engineering Attacks on Computer Systems*, IEEE Xplore Digital Library.

ROZDZIAŁ 15

Czy produkcja informacyjna może być szansą dla Podkarpacia?

Janusz KOLBUSZ[♦], Piotr HAJDER[♣]

[♦]Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie,

[♣]Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl, Pioletr.Hajder@gmail.com

Streszczenie

W prezentowanym rozdziale, autorzy określili podstawowe filary rozwoju województwa podkarpackiego. Opierając się na wynikach przeprowadzonych badań, zaproponowano, aby obok turystyki, rolnictwa ekologicznego oraz przemysłu lotniczego, filarem takim była produkcja informacyjna, pozwalająca zachować niepowtarzalne walory środowiskowe województwa. Przedstawiono jej wady i zalety na tle innych kluczowych gałęzi gospodarki, omówiono najważniejsze bariery jej rozwoju. Wyniki badań poparto danymi statystycznymi, pochodzącymi zarówno z Głównego Urzędu Statystycznego, jak również opracowań autorów. Rozdział adresowany jest do wszystkich osób zainteresowanych efektywnym rozwojem województwa Podkarpackiego.

1. Definicja zadań i obszaru badań

Do najistotniejszych przemian zachodzących w polskim systemie społeczno-gospodarczym po 1989 roku, obok demokratyzacji życia publicznego, możemy zaliczyć modernizację gospodarki oraz jej integrację ze światowym systemem ekonomicznym. Początkowo, zachodzące przeobrażenia były inicjowane i sterowane centralnie. Po zmianie ustroju, rozpoczęła się intensywna modyfikacja otoczenia instytucjonalnego, w szczególności, kształtowanie nowych norm i zasad współdziałania gospodarczego, coraz szerszy polimorfizm własności oraz znaczny wzrost liczby podmiotów prowadzących działalność gospodarczą [1], [2], [3]. W rezultacie, procesy modernizacyjne i integracyjne pojawiły się na poziomie regionalnym, gdzie coraz większą rolę zaczęła odgrywać bezpośrednio współpraca pomiędzy lokalnymi systemami gospodarczymi państw Unii Europejskiej (UE). Ponadto, dominacja małych i średnich przedsiębiorstw na regionalnym rynku usług i produkcji uczyniła centralnie sterowane procesy modernizacyjne nieefektywnymi. Skutkiem powyższych przemian było poszerzenie roli polityki regionalnej w sterowaniu rozwojem społeczno-gospodarczym [4], [5].

W odróżnieniu od wyjątkowej w skali Europy jednolitości narodowościowej, polskie regiony charakteryzuje bardzo zróżnicowany poziom rozwoju gospodarczego. Obok Mazowsza prezentującego średni poziom europejski, województwa ściany wschodniej należą do najbiedniejszych regionów UE. W 2012 roku, przypadający na mieszkańca produkt krajowy brutto na Mazowszu wynosił 68299 zł, co stanowiło 165% średniej krajowej. W tym samym czasie na Podkarpaciu był odpowiednio równy 27719 zł i 67% średniej ogólnopolskiej [6]. Znaczące zróżnicowanie wartości produktu ma miejsce również w ramach samych województw. W przypadku Podkarpacia jest on najwyższy w podregionie rzeszowskim (w 2011 roku odpowiednio 32168 zł i 81,1%), najniższy zaś w przemyskim (20923 zł i 52,7%) [1]. Bardzo zróżnicowane są również zarobki, które na Podkarpaciu należą do najniższych w kraju. Przeciętne, miesięczne wynagrodzenie w sektorze przedsiębiorstw w 2013 roku wyniosło 3148 zł wobec średniej krajowej równej 3837 zł. Wszystkie powyższe nierówności wraz ze spadającym przeciętnym zatrudnieniem w sektorze przedsiębiorstw są jedną z ważniejszych przyczyn wysokiego salda migracji wewnętrznych i zagranicznych na pobyt stały, które dla Podkarpacia wynosi $-1,5$, przy średniej krajowej $-0,5$.

Aby przeciwdziałać opisanym negatywnym tendencjom, samorządy powinny intensyfikować rozwój gospodarczy, również poprzez wykorzystanie do tego środków pomocowych przyznanych regionowi na lata 2014-20. Dobór preferowanych kierunków rozwoju powinien maksymalnie uwzględniać uwarunkowania lokalne, zapewniać szybkie osiągnięcie samodzielności finansowej podejmowanych przedsięwzięć, a także ich odporność na nieuchronne wyrównywanie poziomu wynagrodzeń na obszarze całego kraju i w krajach sąsiednich. Jeżeli w najbliższym czasie, system społeczno-gospodarczy Podkarpacia nie stanie się zróżnicowany i konkurencyjny to województwo na wiele lat pozostanie jednym z najbiedniejszych regionów UE. Autorzy proponują, aby obok turystyki (poznawczej, kwalifikowanej i zdrowotnej), rolnictwa ekologicznego i przemysłu lotniczego, czwartym filarem gospodarki Podkarpacia była produkcja informacyjna.

2. Komponenty produkcji informacyjnej

W wyniku globalizacji gospodarki światowej oraz dynamicznego rozwoju technologii informacyjnych i komunikacyjnych, informacja stała się najcenniejszą wartością niematerialną [7], [8]. Znaczenie informacji w nowoczesnym systemie społeczno-gospodarczym zostało szeroko docenione, o czym świadczą techniczne i socjologiczne koncepcje jej roli w społeczeństwie. W ciągu ostatnich lat pojęcia *informacja* i *społeczeństwo informacyjne* stały się jednymi z najczęściej spotykanych nie tylko w literaturze, ale i w różnorodnych programach rozwoju społeczno-gospodarczego. Pomimo mnogości ocen i prognoz postępów informatyzacji, panuje powszechna zgodność, że współczesne środki komunikacji i przetwarzania danych dostarczyły nowych możliwości rozwoju gospodarczego, społecznego

i kulturalnego, jednocześnie zaostrzając problemy wynikające z wykluczenia całych grup społecznych [9], [10].

Podstawą budowy społeczeństwa informacyjnego i bazującego na nim rozwoju regionalnego jest infrastruktura informacyjna. Dotychczasowe badania, w tym obszarze, skoncentrowano na infrastrukturze o zasięgu ogólnokrajowym. Chociaż jej zasoby są szeroko wykorzystywane przez samorządy, doświadczeń uzyskanych w trakcie badań nie należy bezpośrednio przenosić na regionalną infrastrukturę informacyjną. W pierwszej kolejności, dotyczy to metodyki budowy infrastruktury, ale również metod oceny jej zaawansowania oraz wpływu na społeczeństwo informacyjne i rozwój regionalny.

W potocznym rozumieniu, *informacja* to przetworzona wiedza, oddzielona od pierwotnego nośnika, posiadająca postać komunikatów i oferowana innym podmiotom. Poza treścią, informacja różni się znaczeniem, dostępnością oraz gotowością do wykorzystania. W najbardziej ogólnym znaczeniu informacja jest formą ustalającą granice rozbicia materii i energii w czasoprzestrzeni, będącą miarą różnorodności podziału i zmian zachodzących w świecie procesów. Kolejnym istotnym terminem jest pojęcie *zasobu informacyjnego*. Jego koncepcja jest podstawą informatyki, jak również teorii informacji i wymaga nowego rozumienia procesu informacyjnego. Korzystając z pojęcia zasobu informacyjnego, możemy określić przedmiot informatyki oraz jej relacje z teorią poznania, semiotyką, teorią informacji i cybernetyką. Chociaż w obecnej nauce brak zgodności terminologicznej, zasób informacyjny najczęściej określa się jako zbiór danych, zawierający rzetelne informacje z różnych dziedzin wiedzy i działalności praktycznej. Z punktu widzenia polityki regionalnej zasobami informacyjnymi będą dokumenty i ich zestawy zlokalizowane w lokalnych systemach informacyjnych.

Produkcją informacyjną (PI) będziemy nazywać proces oddziaływania na informację, wykorzystujący narzędzia informatyczne, którego celem jest uzyskanie nowych informacji, niezbędnych do tworzenia dóbr materialnych i duchowych zapewniających istnienie i rozwój człowieka oraz społeczeństwa. Efektem PI jest informacja wykorzystywana, jako narzędzie pracy w dowolnej produkcji materialnej i niematerialnej. Produkty i usługi informacyjne, obok materialnych są podstawowymi składnikami produktu krajowego większości państw. Proces reprodukcji społecznej łączy nie tylko samą PI, polegającą na stworzeniu produktu informacyjnego, ale również wymianę, obrót, dystrybucję i jego użytkowanie. Dlatego, w krajach wysokorozwiniętych, w kategorii usług, dominują usługi informacyjne, związane ze sprzedażą i wdrożeniem własnego lub obcego produktu informacyjnego. PI jest realizowana przez człowieka pracującego samodzielnie lub w zespole. Polega ona na przetwarzaniu informacji, pozyskiwanej z otaczającego środowiska, bądź będącej efektem pracy innych osób. Zakłada ona wykonanie sekwencji operacji, w których rezultacie tworzona jest nowa informacja, niewystępująca w otaczającym środowisku i w przygotowanej postaci wynikowej nieznaną podmiotom systemu gospodarczego. Doskonałym przykładem produk-

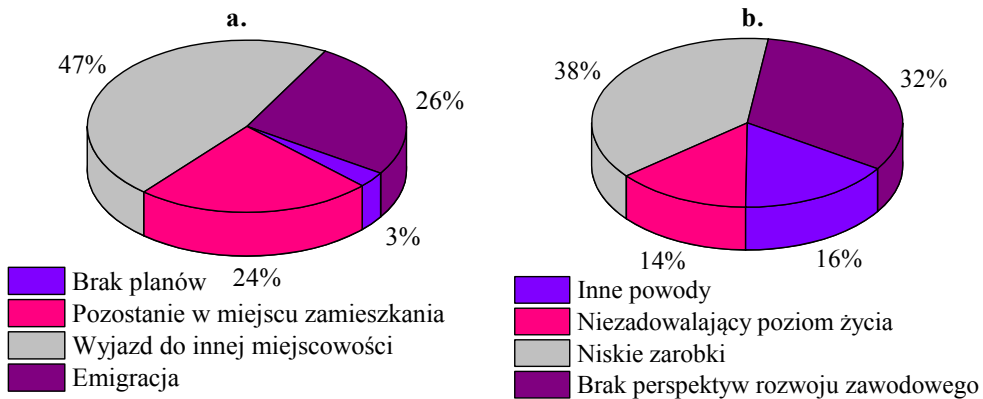
cji informacyjnej są wytwory takich koncernów jak Apple i Microsoft, których roczne obroty wielokrotnie przekraczają budżet Polski.

3. Bariery rozwoju produkcji informacyjnej na Podkarpaciu

Wbrew powszechnie panującemu przekonaniu, Podkarpacie nie wyróżnia się wysokim poziomem produkcji informacyjnej. W pierwszej setce największych firm IT znajduje się tylko jedna firma z Podkarpacia. Również w budżetach regionalnych udział przychodów z branży IT jest niższy niż w innych województwach. Najważniejszymi barierami dalszego rozwoju produkcji informacyjnej na Podkarpaciu są:

1. Jednostronność finansowania działalności innowacyjnej, koncentrującą się obecnie na tradycyjnym obszarze produkcji materialnej;
2. Niski poziom wynagrodzeń pracowników branży IT, będący w głównej mierze skutkiem braku konkurencji na rynku dużych przedsiębiorstw IT. W rezultacie, tylko niewielka część absolwentów kierunków powiązanych z IT planuje pozostanie w swoim obecnym miejscu zamieszkania;
3. Nieefektywne finansowanie szkolnictwa wyższego, w zbyt małym stopniu uwzględniające specjalizacje uczelni, czego efektem jest niesatysfakcjonujący poziom kształcenia, skutkujący wyjazdem najzdolniejszej młodzieży na studia do innych ośrodków.

Za bardzo niepokojące można uznać wyniki badań, prowadzonych w latach 2007-2014 wśród studentów kierunków technicznych. Ich wyniki, w odniesieniu do absolwentów kierunku Informatyka przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Plany życiowo-zawodowe absolwentów kierunku Informatyka:

a. Z jakim miejscem wiążesz swoją przyszłość?;

b. Co jest powodem wyjazdu z Podkarpacia? Źródło: *badania własne*

Znacząca część spośród ankietowanych absolwentów deklaruje chęć opuszczenia Podkarpacia i wiązania swej przyszłości z innymi regionami Polski lub kraja-

mi Europy. Charakterystyczne jest, że chęć taką zgłaszają przede wszystkim osoby wywodzące się z większych (powyżej 50 tys. mieszkańców) ośrodków miejskich. Pozostanie w miejscu zamieszkania jest zazwyczaj uzasadniane sprawami rodzinnymi oraz lokalowymi, przy czym powody te są częściej wymieniane przez osoby wywodzące się z obszarów wiejskich. Większość, bo aż 84%, spośród ankietowanych absolwentów, którzy nie wiążą swojej przyszłości z Podkarpaciem uważa, że na terenie województwa niespełnione zostaną ich oczekiwania dotyczące ich statusu materialnego i zawodowego. Spośród najczęściej podawanych innych przyczyn opuszczenia Podkarpacia, należy wymienić powody rodzinne oraz mieszkaniowe.

Opisaną migrację obserwujemy od wielu lat i jest ona brzemienne w skutkach. Choć Podkarpacie znajduje się w czołówce województw z największymi nakładami na innowacyjność, jej poziom jest rekordowo niski. W większości, nakłady te kierowane są na sektor przemysłu maszynowego, w szczególności lotniczego [11], [12] i nie idą w parze z innymi wskaźnikami odzwierciedlającymi potencjał intelektualny województwa. W 2012 roku, na 100 tys. mieszkańców Podkarpacia zgłoszono do ochrony patentowej tylko 6,7 wynalazków i wzorów użytkowych, tj. blisko czterokrotnie mniej niż w liderującym w tej klasyfikacji województwie mazowieckim [13]. W rankingu najbardziej konkurencyjnych regionów UE, Podkarpacie znalazło się dopiero na 225 miejscu, na 273 sklasyfikowane regiony [14].

Zjawisko masowej migracji absolwentów powinno budzić zaniepokojenie władz samorządowych. Większość przedsiębiorców prowadzących swoją działalność na terenie Podkarpacia kieruje się relatywnie niskim kosztem wykwalifikowanej siły roboczej. Dlatego, działania samorządów powinny pójść w kierunku: tworzenia warunków do prowadzenia działalności przez mikro i małe przedsiębiorstwa, poprawy konkurencyjności na rynku dużych przedsiębiorstw branży IT, z systematycznym ograniczaniem dotowania przedsiębiorstw bazujących wyłącznie na taniej sile roboczej. Należy również skoncentrować się na rozbudowie infrastruktury informatycznej i telekomunikacyjnej, które są podstawą działania firm IT.

4. Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości, że PI może być szansą na rozwój województwa podkarpackiego i poprawę życia jego mieszkańców. W przekonaniu autorów, szansa ta została dostrzeżona przez władze samorządowe i uwzględniona w planach rozwoju regionu. Aby jednak podejmowane działania były skuteczne, należy:

1. Zadbać o równomierny podział środków pomocowych, przeznaczonych na kształcenie i działalność innowacyjną. Wieloletnie doświadczenia dobitnie pokazały, że podmioty prywatne lepiej wykorzystują przyznawane środki;
2. Zwiększyć konkurencyjność w obszarze dużych przedsiębiorstw IT. Dotychczasowe starania w tym zakresie należy uznać za, co najmniej, niesatysfakcjonujące;

3. W różnorodny sposób przeciwdziałać migracji absolwentów uczelni wyższych, w szczególności kierunków z obszaru IT i branży pokrewnych.

Natychmiastowe podjęcie takich działań może przynieść zauważalne efekty już w kilku kolejnych latach. W działania te powinny zostać zaangażowane władze samorządowe wszelkich szczebli.

Bibliografia

- [1] M. Cierpiął-Wolan, Red., Województwo podkarpackie. Podregiony, powiaty, gminy - 2013, Rzeszów: Urząd Statystyczny w Rzeszowie, 2013, p. 356.
- [2] D. Andrzejczyk, „Przedsiębiorczość małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce - ujęcie regionalne”, *Roczniki Ekonomiczne Kujawsko - Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy*, tom 3, pp. 137-152, 2010.
- [3] Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, „Raport o stanie sektora małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce w latach 2011-2012”, Warszawa, 2013.
- [4] J. Mackiewicz-Łyziak, „Wpływ infrastruktury na produktywność w gospodarce Polski”, *Gospodarka Narodowa*, nr 3, pp. 41-61, 2010.
- [5] S. Piszczek i M. Biczkowski, „Analiza współzależności potencjału gospodarczego i infrastruktury technicznej obszarów wiejskich”, *Wieś i Rolnictwo*, nr 2 (159), pp. 71-87, 2013.
- [6] Urząd Statystyczny w Katowicach, „Wstępne szacunki produktu krajowego brutto według województw w 2012 r.”, Katowice, 2014.
- [7] M. Hajder, H. Loutskii i W. Stręciwilk, Informatyka. Wirtualna podróż w świat systemów i sieci komputerowych, I red., M. Hajder, Red., Rzeszów: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania, 2002.
- [8] G. Marakas i J. A. O'Brien, Introduction to Information Systems, 16 red., New York: McGraw-Hill, 2013, p. 768.
- [9] M. Castells i P. Himanen, Społeczeństwo informacyjne i państwo dobrobytu, Warszawa: Wydawnictwo Krytyki Politycznej, 2009, p. 232.
- [10] J. Oleński, Infrastruktura informacyjna państwa w globalnej gospodarce, Warszawa: Nowy Dziennik sp. z o.o. i Uniwersytet Warszawski, Wydział Nauk Ekonomicznych, 2006, p. 710.
- [11] Ministerstwo Gospodarki, Departament Strategii i Analiz, Przesiębiorczość w Polsce, Warszawa: Ministerstwo Gospodarki, 2012.
- [12] Ministerstwo Gospodarki, Departament Strategii i Analiz, Przedsiębiorczość w Polsce, Warszawa: Ministerstwo Gospodarki, 2013.
- [13] Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, Raport roczny 2012, Warszawa: Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, 2013.
- [14] European Commission, EU Regional Competitiveness Report 2012. Reaping the Benefits of Globalization, Brussels: European Commission, 2013.

ROZDZIAŁ 16

Grafowe reprezentacje obiektów technicznych

Mirosław HAJDER*, Mariusz NYCZ*, Janusz KOLBUSZ*

*Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie

*Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza,

Miroslaw.Hajder@gmail.com, MNycz@prz.edu.pl, JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl

Streszczenie

Tematem rozdziału są metody opisu obiektów technicznych, bazujące na wykorzystaniu teorii grafów. Autorzy koncentrują się na dostosowaniu rodzaju wykorzystywanego modelu do charakterystyk obiektu oraz procesu modelowania. Dla obiektów z niezależną strukturą, oprócz klasycznego przedstawienia grafu, zaproponowano zastosowanie krawędziowego i wierzchołkowo-krawędziowego sposobu ich zapisu. Dla obiektów ze współdzielonymi elementami, zasugerowano wykorzystanie pochodnych grafów PBL. Dla każdego typu reprezentacji określono obszar jego wykorzystania. Rozdział jest adresowany do osób zajmujących się bezpieczeństwem obiektów technicznych.

1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo to jeden z najistotniejszych problemów dotyczących praktycznie wszystkich aspektów działalności współczesnego człowieka. Dla znacznej części społeczeństwa, kojarzy się ono, przede wszystkim, z przestępczością popolitą, terroryzmem oraz działaniami wojennymi. Jednak zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka, a także gromadzonych przez niego wartości materialnych znacznie częściej są skutkiem katastrof technologicznych i naturalnych. W wyniku charakterystycznego dla drugiej połowy XX wieku gwałtownego, społeczno-gospodarczego rozwoju świata, pojawiły się wielkoskalowe systemy techniczne, wymagające niespotykanej dotąd politycznej, gospodarczej, a nawet wojskowej aktywności podmiotów biznesowych, nierzadko obejmującej swym zasięgiem całe kontynenty.

Badania w ramach projektu: „*Neuronowe i immunologiczne wspomaganie analizy i syntezy modeli obiektów technicznych na bazie struktur wykorzystujących grafy rzadkie w warunkach niekompletności informacji*”.

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu Państwa w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007 – 2013. Inwestujemy w rozwój województwa podkarpackiego.

Budowane systemy techniczne, często funkcjonujące autonomicznie, wyposaża się w rozbudowane sieci zasilające, własną strukturę transportową, sterującą i zarządzającą. Wykorzystują one szeroko, zaawansowane metody pozyskiwania zasobów ludzkich, technologicznych i surowcowych. Niestety, ich często niekontrolowanemu rozwojowi, towarzyszy wzrost wrażliwości środowiska na działanie czynników zewnętrznych o charakterze katastroficznym, takich jak gwałtowne zjawiska pogodowe, powódzie, trzęsienia ziemi, celowe lub losowe szkodliwe działania techniczne [1], [2], [3], [4], [5]. Opisane zjawiska nasilają się z upływem czasu.

Jednym z najważniejszych kierunków badań w obszarze bezpieczeństwa obiektów technicznych (OT) jest analiza żywotności, która obok niezawodności i odporności na uszkodzenia jest podstawową charakterystyką określającą bezpieczeństwo eksploatacji OT. Szeroko wykorzystywanym, efektywnym sposobem badania żywotności obiektu jest przedstawienie go w postaci modelu grafowego. W takim przypadku, wskaźnikiem żywotności badanego OT będą pochodne wierzchołkowej lub krawędziowej spójność grafu modelu [6], [7], [8], [9], [10].

Metody teorii grafów odgrywają szczególną rolę przy analizie złożonych obiektów technicznych, takich jak sieci teleinformatyczne. W szczególności, stanowią one podstawę: analizy żywotności sieci; oceny poziomu dostępności informacji; projektowania sieci połączeniowych; optymalizacji administrowania sieciami korporacyjnymi; podwyższenia ich przepustowości; ulepszania routingu; zapewniania i poprawy bezpieczeństwa; analizy rozprzestrzeniania się złośliwego oprogramowania.

2. Reprezentacje grafu

2.1. Podstawowe definicje teorii grafów

Teoria grafów jest dyscypliną naukową będącą częścią matematyki dyskretnej, zajmująca się analizą właściwości skończonych zbiorów z ściśle określonymi relacjami pomiędzy ich elementami. Jest ona szeroko wykorzystywana do opisu i badania różnorodnych systemów technicznych, biologicznych, ekonomicznych i społecznych. Podstawową definicją teorii jest określenie grafu, które może mieć poniższą postać.

Definicja 1

Grafem nieskierowanym $G=(V_G, E_G)$ nazywamy parę dwóch niepustych skończonych, rozłącznych zbiorów: zbioru V_G , nazywanego zbiorem wierzchołków grafu ($V_G = \{v_{G_1}, v_{G_2}, \dots, v_{G_n}\}, n > 0$) oraz zbioru E_G , będącego zbiorem jego krawędzi ($E_G = \{e_{G_1}, e_{G_2}, \dots, e_{G_m}\}, m > 0$), przy czym dla każdego i , e_{G_i} jest parą elementów ze zbioru wierzchołków V_G .

Powyższa definicja nie jest jedyną, w literaturze można znaleźć alternatywne określenia grafu [6], [7], [8], [9]. Pomiedzy elementami grafu, a komponentami modelowanego obiektu istnieje pewne przyporządkowanie. Dla przykładu, rozważmy połączenia sieci teleinformatycznej. Najczęściej, zbiór wierzchołków grafu reprezentuje sobą zbiór jej węzłów, a zbiór krawędzi – zbiór kanałów komunikacyjnych modelowanej sieci. Do przedstawienia sieci teleinformatycznych szeroko wykorzystuje się opisane definicją 1 grafy nieskierowane. Jednak w wielu przypadkach model może pokazywać: ukierunkowanie działania sił, przepływu informacji, przemieszczania się mas, do czego lepiej jest wykorzystywać grafy skierowane. Przedstawione poniżej określenie grafu skierowanego jest rozwinięciem definicji grafu nieskierowanego. W dalszej części rozdziału rozważać będziemy grafy nieskierowane, a graf G będziemy nazywać grafem źródłowym.

Definicja 2

Grafem skierowanym $G = (V_G, E_G)$ będziemy nazywać graf, którego każda krawędź $e_G \in E_G$ jest uporządkowanym zbiorem wierzchołków.

Podstawowym parametrem dowolnego grafu jest stopień, który możemy przypisać zarówno samej sieci, jak i dowolnemu z jej wierzchołków. Stopniem s_i^G i -tego wierzchołka grafu G , będziemy nazywać liczbę krawędzi grafu, incydentnych do danego wierzchołka, stopniem s^G sieci będziemy nazywać maksymalny stopień jego wierzchołków.

2.2. Grafowa reprezentacja struktur niezależnych

Istnieje kilka alternatywnych sposobów zapisu grafu. Do najszerzej wykorzystywanych możemy zaliczyć zapis macierzowy oraz graficzny. *Zapis macierzowy* bazuje na przedstawieniu relacji pomiędzy wierzchołkami i krawędziami za pomocą macierzy (incydencji lub sąsiedztwa). Jest on wykorzystywany przez większość programów komputerowych, jednak okazuje się mało czytelny dla użytkownika. Do użytkowników, adresowany jest *zapis graficzny*, w którym zbiór V_G skojarzony jest z wierzchołkami grafu, a zbiór E_G z jego krawędziami. Graf $G = (V_G, E_G)$, oprócz zapisu tradycyjnego może zostać przedstawiony w dwóch innych postaciach: krawędziowej $L(G)$ oraz wierzchołkowo-krawędziowej $T(G)$, nazywanej również grafem totalnym. Rozważmy krawędziowe $L(G)$ przedstawienie grafu G , znajdujące szerokie wykorzystanie w badaniach żywotności OT.

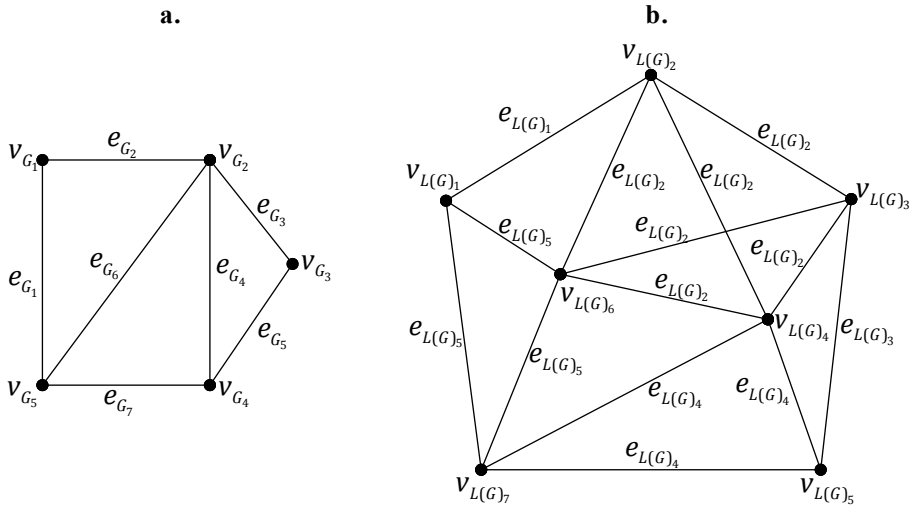
Niech $V_{L(G)} = \{v_{L(G)_1}, v_{L(G)_2}, \dots, v_{L(G)_n}\}$ będzie zbiorem wierzchołków grafu krawędziowego $L(G)$, a $E_G = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ zbiorem krawędzi grafu G . Wtedy graf krawędziowy $L(G)$ można zdefiniować w poniższy sposób.

Definicja 3

Dla dowolnego grafu G graf krawędziowy $L(G)$ to graf utworzony na podstawie G , spełniający następujące dwa warunki:

1. $V_{L(G)} = E_G$;
2. Wierzchołki $v_{L(G)_i}$ i $v_{L(G)_j}$ są sąsiednie w $L(G)$ wtedy i tylko wtedy, kiedy krawędzie e_{G_i} i e_{G_j} dla dowolnego i, j są sąsiednie w grafie G .

Na rys. 1a. przedstawiono graf źródłowy G , a na rys. 1b. jego reprezentację krawędziową $L(G)$.



Rys. 1. Graf źródłowy (a.) i jego reprezentacja krawędziowa (b.)

Postać krawędziowa jest szeroko wykorzystywana do analizy obiektów technicznych, o których sprawności decydują komponenty węzłowe a nie liniowe. Przykładem takiego obiektu są sieci komputerowe, wykorzystujące media przewodowe, o których dostępności decydują węzły, a nie kanały komunikacyjne.

Kolejnym przydatnym sposobem graficznego przedstawienia modelu OT jest *graf wierzchołkowo-krawędziowy* (totalny) $T(G)$. Wyróżniamy w nim dwa typy wierzchołków: wierzchołki-wierzchołki oraz wierzchołki-krawędzie. Może on zostać zdefiniowany w poniższy sposób.

Definicja 4

Dla dowolnego grafu G , graf totalny $T(G)$ to graf spełniający następujące warunki:

1.
 - a. Wierzchołki-wierzchołki grafu $T(G)$ to wierzchołki będące również wierzchołkami w grafie G ;
 - b. Wierzchołki-krawędzie grafu $T(G)$ to wierzchołki będące krawędziami w grafie G .
2.
 - a. $|V_{T(G)}| = |E_G| \cup |V_G|$;

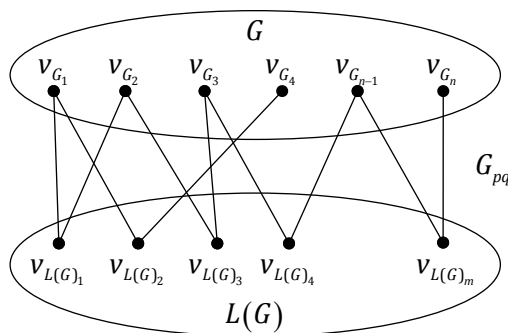
- b. Wierzchołki-krawędzie $e_{T(G)_i}$ oraz $e_{T(G)_j}$ są sąsiednie w $T(G)$ wtedy i tylko wtedy, kiedy krawędzie e_{G_i} i e_{G_j} są sąsiednie w G ;
- c. Wierzchołki-wierzchołki $v_{T(G)_i}$ oraz $v_{T(G)_j}$ są sąsiednie w $T(G)$ wtedy i tylko wtedy, kiedy wierzchołki v_{G_i} i v_{G_j} są sąsiednie w G ;
- d. Wierzchołki-wierzchołki $v_{T(G)_i}$ oraz $v_{T(G)_j}$ są sąsiadami wierzchołka-krawędzi $e_{T(G)_j}$ w $T(G)$ wtedy i tylko wtedy, kiedy wierzchołki v_{G_i} i v_{G_j} są przyległe do krawędzi e_{G_j} w G .

Do zrozumienia istoty grafu totalnego $T(G)$, przedstawimy go z wykorzystaniem grafu dwudzielnego G_{pq} , który opisuje poniższa definicja.

Definicja 5

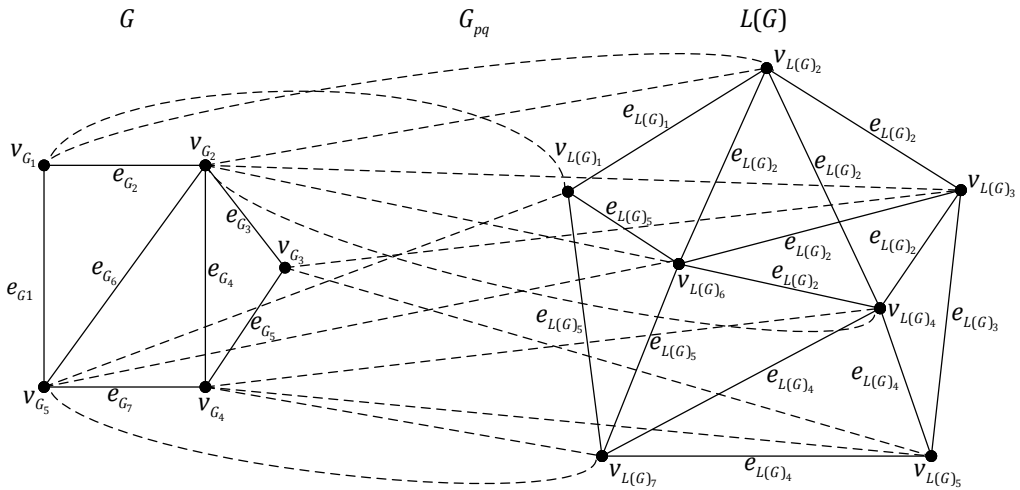
Grafem dwudzielnym nazywamy graf, w którym istnieje podział zbioru wierzchołków na dwie klasy, a zakończenia każdej krawędzi należą do różnych klas. Jeżeli dowolne dwa wierzchołki wchodzące w różne zbiory są sąsiednie to graf taki nazywa się pełnym grafem dwudzielnym.

W celu zaprezentowania właściwości grafu totalnego, rozważmy graf G złożony z p wierzchołków oraz q krawędzi. Wykorzystując obie powyższe definicje można przedstawić go jako graf dwudzielny, łączący tradycyjną reprezentację grafu G z jego reprezentacją krawędziową $L(G)$, co pokazano schematycznie na rys. 2. G to graf źródłowy, $L(G)$ – krawędziowy a G_{pq} – graf dwudzielny łączący oba grafy.



Rys. 2. Graf totalny jako graf dwudzielny

Graf G został przedstawiony, jako graf totalny $T(G)$ na zamieszczonym poniżej rys. 3.



Rys. 3. Totalna reprezentacja grafu źródłowego

W celu powiązania stopni wierzchołków w tradycyjnej wierzchołkowej reprezentacji grafu G oraz zbudowanego na jego bazie grafu totalnego $T(G)$, wprowadzono dwa poniższe lematy.

Lemat 1

Stopień wierzchołka-wierzchołka $v_{T(G)_i}$ w grafie totalnym $T(G)$ jest równy sumie stopni krawędzi e_{G_1}, \dots, e_{G_m} grafu G , przyległych do wierzchołka v_{G_i} , tj. $\deg v_{T(G)_i} = \sum_{j=1}^k \deg e_{G_j}$, gdzie e_{G_j} - krawędź przyległa do wierzchołka v_{G_i} w grafie G , $1, \dots, k$ - numery kolejnych krawędzi przyległych do wierzchołka v_{G_i} w G . Dla wierzchołka-wierzchołka $v_{T(G)_i}$ grafu $T(G)$ prawdziwa jest nierówność $\deg v_{T(G)_i} \geq 2 \deg v_{G_i}$.

Dowód. Prawdziwość lematu wynika bezpośrednio z definicji grafu totalnego. ■

Lemat 2

Stopień wierzchołka-krawędzi $e_{T(G)_i}$ w grafie totalnym $T(G)$ jest równy sumie stopni wierzchołków v_{G_1}, \dots, v_{G_m} grafu G , przyległych do krawędzi e_{G_i} , tj. $\deg e_{T(G)_i} = \sum_{j=1}^k \deg v_{G_j}$, gdzie v_{G_j} - wierzchołek przyległy do krawędzi e_{G_i} w grafie G , $1, \dots, k$ - numery kolejnych wierzchołków przyległych do krawędzi e_{G_i} w G . Dla wierzchołka-krawędzi $e_{T(G)_i}$ grafu $T(G)$ prawdziwa jest nierówność $\deg e_{T(G)_i} \geq 2 \deg e_{G_i}$.

Dowód. Prawdziwość lematu wynika bezpośrednio z definicji grafu totalnego. ■

Na podstawie powyższych lematów można udowodnić poniższe twierdzenie.

Twierdzenie 1

Jeżeli w grafie G wierzchołek v_{G_k} jest wierzchołkiem o najmniejszym stopniu to w grafie $T(G)$, wierzchołek-wierzchołek $v_{T(G)_k}$ jest także wierzchołkiem o najmniejszym stopniu.

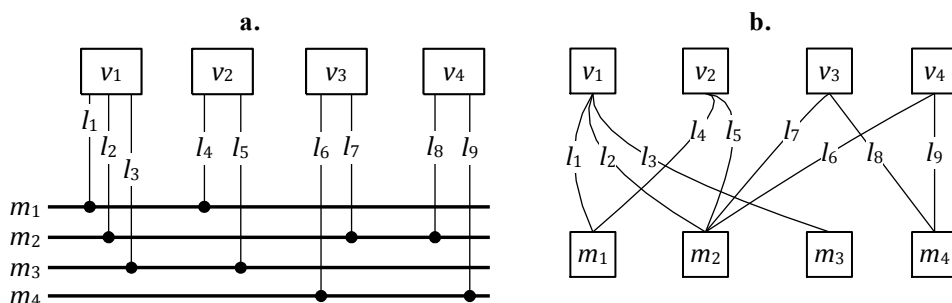
Dowód. Prawdziwość twierdzenia wynika bezpośrednio z obu poniższych lematów. ■

Modele obiektów technicznych wykorzystujące grafy totalne są używane do analizy dostępności sieci, w których awaryjne są ich wszystkie elementy, a także miejsca ich styku.

2.3. Grafowa reprezentacja struktur współdzielonych

Przykładem obiektu technicznego ze współdzielonymi elementami struktury mogą posłużyć sieci bezprzewodowe. W sieciach tych, medium transmisyjne, którym jest otaczająca przestrzeń, jest wykorzystywane przez wielu użytkowników. Graficzną reprezentację sieci bezprzewodowych można zastosować do rozwiązania większości zadań z nimi związanych, począwszy od analizy niezawodności, dostępności, odporności na uszkodzenia i żywotności, na analizie strumieni informacyjnych i ich rozplywie skończywszy. Dalej rozważać będziemy wielokanałową sieć bezprzewodową z rys. 4a., złożoną z 4 węzłów oraz 4 współdzielonych kanałów komunikacyjnych zwanych dalej magistralami.

Grafem PBL systemu magistralowego G zawierającego $|V_G|$ węzłów, $|E_G|$ magistral i zbiór linków K nazywamy dwudzielny graf G_{PBL} , który jest następującą parą $(V_{G_{PBL}}, E_{G_{PBL}})$ i $V_{G_{PBL}} = VV_{G_{PBL}} \cup VE_{G_{PBL}}$, gdzie $VV_{G_{PBL}} = V_G$ i $VE_{G_{PBL}} = E_G$ oraz $E_{G_{PBL}}$ reprezentuje połączenia w grafie G pomiędzy magistralami a węzłami. Węzły $v_{G_{PBL}i}$ i $v_{G_{PBL}j}$ są połączone przez krawędź $e_{G_{PBL}m}$ wtedy i tylko wtedy, kiedy w źródłowym systemie magistralowym magistrala M_i jest połączona z węzłem W_j linkiem k_m . Graf ten został pokazany na rys. 4b.



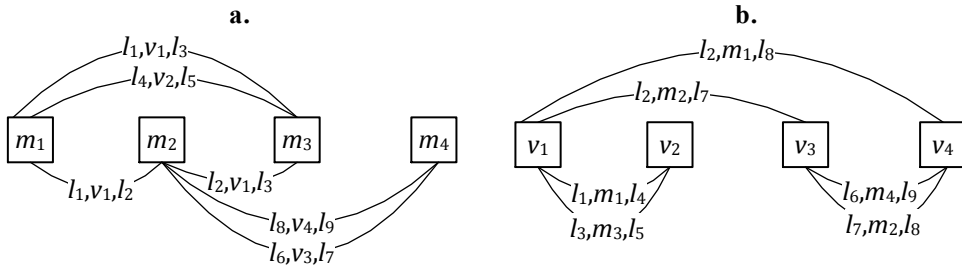
Rys. 4. Źródłowa sieć wielomagistralowa (a.) oraz jej reprezentacja PBL (b.)

Na podstawie grafu PBL można zbudować również inne formy reprezentacji współdzielonego grafu G , w szczególności postać: krawędziową, wierzchołkową, linkową, a także opisaną wcześniej wierzchołkowo-krawędziową (totalną).

Dla dowolnego grafu G_{PBL} graf krawędziowy $L(G)$ opisywany jest za pomocą dwóch następujących warunków, będących modyfikacją poprzedniej definicji grafu krawędziowego:

1. $V_{L(G)} = VE_{G_{PBL}}$;
2. Wierzchołki $v_{L(G)_i}$ i $v_{L(G)_j}$ są sąsiednie w $L(G)$ wtedy i tylko wtedy, kiedy wierzchołki-wierzchołki (magistrale) $v_{G_{PBL}i}, v_{G_{PBL}j} \in VE_{G_{PBL}}$ są sąsiednie w grafie G_{PBL} .

Graf krawędziowy, jako reprezentacja źródłowego grafu magistralowego pokazano na rys. 5a.



Rys. 5. Reprezentacje źródłowego grafu magistralowego: graf krawędziowy $L(G)$ (a.); graf wierzchołkowy $N(G)$ (b.)

Dla dowolnego grafu G_{PBL} , graf wierzchołkowy $N(G)$ opisywany jest za pomocą następujących dwóch warunków:

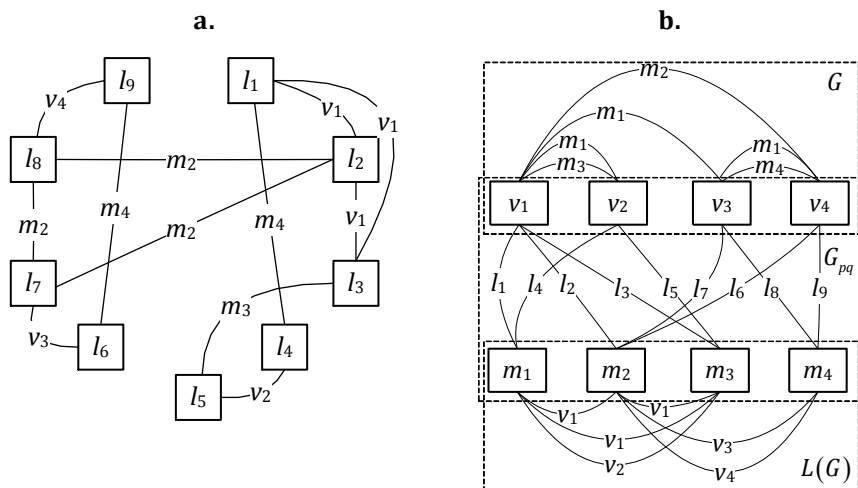
1. $V_{N(G)} = VV_{G_{PBL}}$;
2. Wierzchołki $v_{N(G)_i}$ i $v_{N(G)_j}$ są sąsiednie w $N(G)$ wtedy i tylko wtedy, kiedy wierzchołki-krawędzie $v_{G_{PBL}i}, v_{G_{PBL}j} \in VV_{G_{PBL}}$ są sąsiednie w G_{PBL} .

Graf krawędziowy $N(G)$ jako reprezentację źródłowego grafu magistralowego pokazano na rys. 5b.

Dla dowolnego grafu G_{PBL} , graf linkowy $Li(G)$ opisywany jest za pomocą dwóch następujących warunków:

1. $V_{Li(G)} = E_{G_{PBL}}$;
2. Wierzchołki $v_{Li(G)_i}$ i $v_{Li(G)_j}$ są sąsiednie w $Li(G)$ wtedy i tylko wtedy, kiedy krawędzie (linki) $e_{G_{PBL}i}, v_{G_{PBL}j} \in E_{G_{PBL}}$ są sąsiednie w G_{PBL} przez wierzchołki ze zbiorów $VE_{G_{PBL}}$ i $VV_{G_{PBL}}$.

Graf $Li(G)$ linkowy jako reprezentację źródłowego grafu magistralowego G pokazano na rys. 6a.



Rys. 6. Reprezentacje magistralowego grafu źródłowego: graf linkowy $Li(G)$ (a.); graf totalny $T(G)$ (b.)

Graf totalny, będący alternatywną reprezentacją źródłowego grafu magistralowego pokazano na rys. 6b.

3. Podsumowanie i dalsze prace

Dalsze prace autorów będą skoncentrowane na następujących zagadnieniach:

1. Analizie charakterystyk obiektów technicznych, opisanych za pomocą alternatywnych sposobów ich reprezentacji;
2. Badaniu spójności grafu wierzchołkowo-krawędziowego, w oparciu o zbiory rozspajające i rozdzielające;
3. Analizie korelacji spójności grafu wierzchołkowo-krawędziowego i grafu źródłowego;
4. Badaniu relacji pomiędzy spójnością grafu a właściwościami obiektu technicznego;
5. Opracowaniu metod efektywnego zapisu w pamięci komputera każdej z zaproponowanych reprezentacji grafu;
6. Poszerzeniu praktycznego wykorzystania opisanych w rozdziale badań.

Planuje się również przygotowanie interaktywnej aplikacji komputerowej analizującej różne reprezentacje grafów o dużym rozmiarze.

Bibliografia

- [1] A. M. Gunn, Encyclopedia of Disasters: Environmental catastrophes and human tragedies, Westport: GREENWOOD PRESS, 2008.

-
- [2] J. F. Lancaster, *Engineering Catastrophes Causes and Effects of Major Accidents*, III ed., Boca Raton: CRC Press, 2005.
 - [3] J.-L. Briaud, *Introduction to geotechnical engineering: unsaturated and saturated soils*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
 - [4] P. Grossi and H. Kunreuther, *Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk*, New York: Springer, 2005.
 - [5] R. W. Day, *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*, II ed., New York: McGraw Hill, 2012.
 - [6] B. Bollobas, *Modern Graph Theory*, New York: Springer, 1998.
 - [7] K. A. Ross i C. R. Wright, *Matematyka dyskretna*, Warszawa: PWN, 2011.
 - [8] R. Diestel, *Graph Theory*, 4 red., New York: Springer, 2010.
 - [9] R. J. Wilson, *Wprowadzenie do teorii grafów*, Warszawa: PWN, 2008.
 - [10] S. Dasgupta, C. Papadimitriou i U. Vazirani, *Algorytmy*, Warszawa: PWN, 2010.
 - [11] L. N. Medford-Davis i B. G. Kapur, „Preparing for effective communications during disasters lessons from a World Health Organization quality improvement project,” *International Journal of Emergency Medicine*, nr 7:15, pp. 1-7, 2014.
 - [12] N. Ghafoori, Ed., *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction*, Leiden: CRC Press, 2010.

ROZDZIAŁ 17

Jedno- i wielokryterialne minimalne ścieżki w obiektach technicznych

Mirosław HAJDER*, Mariusz NYCZ*, Janusz KOLBUSZ*

*Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie

♦Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza,

Miroslaw.Hajder@gmail.com, MNycz@prz.edu.pl, JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl

Streszczenie

W rozdziale opisano badania dotyczące metod efektywnego poszukiwania najkrótszych ścieżek w grafie-modelu obiektu technicznego. Na wstępie wprowadzono formalne definicje analizowanych obiektów oraz zdefiniowano kryteria oceny przydatności konkretnej metody do konkretnych zastosowań. Dalej, dokonano szczegółowej analizy większości znanych metod, wskazując jednocześnie obszary ich efektywnego wykorzystania. Następnie, wskazano na celowość wielokryterialnego wyszukiwania minimalnych ścieżek w odniesieniu do obiektów technicznych oraz przedstawiono opracowane metody ich budowy.

1. Wstęp

Jednymi z najważniejszych i najszerzej wykorzystywanych pojęć teorii grafów jest ścieżka. Znajdowanie minimalnej ścieżki było, obok budowy minimalnego drzewa rozpinającego, jednym z najwcześniej rozwiązanych zadań teorii grafów. Choć poszukiwanie minimalnej ścieżki kojarzy się zazwyczaj z analizą lub syntezą różnorodnych sieci transportowych, zakres jego praktycznego wykorzystania jest znacznie szerszy. Minimalne ścieżki można zastosować w procesie planowania działań ratunkowych, podejmowanych po wystąpieniu zjawisk o charakterze katastroficznym, organizacji produkcji, optymalizacji zatrudnienia itp. Oparta na nich formalizacja procesu decyzyjnego gwarantuje lepsze wykorzystanie posiadanego potencjału ludzkiego i sprzętowego. Wyszukiwanie minimalnych ścieżek można zastosować także do określania wskaźników żywotności obiektów technicznych (OT), logistyce, optymalizacji algorytmów i in.

Badania w ramach projektu: „Neuronowe i immunologiczne wspomaganie analizy i syntezy modeli obiektów technicznych na bazie struktur wykorzystujących grafy rzadkie w warunkach niekompletności informacji”.

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu Państwa w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007 – 2013. Inwestujemy w rozwój województwa podkarpackiego.

Pomimo szerokiego asortymentu algorytmów rozwiązujących zadania wyszukiwania minimalnej ścieżki, brakuje dogłębnej analizy określającej obszar efektywnego wykorzystania każdego z nich, szczególnie w przypadku modelowania złożonych OT. Ponadto, znane algorytmy dokonują wyszukiwania jednokryterialnego, podczas gdy w analizie OT o jej wyborze decyduje wiele różnych charakterystyk. Dlatego, w ramach prowadzonych badań, opracowano i przetestowano nowe algorytmy wielokryterialne, przeznaczone do zastosowania w analizie złożonych obiektów technicznych.

2. Jednokryterialne wyszukiwanie najkrótszej ścieżki w grafie-modelu

2.1. Podstawowe definicje i charakterystyki grafu-modelu

W niniejszym rozdziale, rozważane będą pojęcia drogi, ścieżki, cyklu oraz odległości w grafie. Poniżej przedstawiono ich definicje, wywodzące się bezpośrednio z teorii grafów [1], [2], [3], [4].

Definicja 1

Droga w grafie to skończony ciąg występujących na przemian wierzchołków i krawędzi postaci $a = v_0, e_1, v_1, e_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n = b$ taki, że $e_i = \{v_{i-1}, v_i\}$, $1 \leq i \leq n$. Wierzchołki a oraz b nazywamy końcami drogi.

Definicja 2

Ścieżką nazywamy drogę, której wszystkie krawędzie są różne, liczba krawędzi nazywana jest długością ścieżki. Jeżeli wszystkie wierzchołki ścieżki są różne to ścieżka nazywana jest ścieżką elementarną, w przeciwnym przypadku złożoną.

Definicja 3

Cyklem nazywamy ścieżkę, której pierwszy i ostatni wierzchołek są identyczne. Jeżeli wszystkie wierzchołki cyklu, oprócz końcowych są różne to cykl nazywany jest cyklem elementarnym, w przeciwnym przypadku mówimy, że jest to cykl złożony.

Definicja 4

Odległość $d_{v,u}$ pomiędzy wierzchołkami v oraz u to długość najkrótszej ścieżki pomiędzy wierzchołkami v oraz u .

Do poszukiwania najkrótszych ścieżek w grafie opracowano i zweryfikowano wiele algorytmów, różniących się zarówno przeznaczeniem, a także złożonością czasową i pamięciową. Do najszerzej wykorzystywanych można zaliczyć algorytmy: Dijkstry, Dijkstry-Gribova, Levita, Forda-Bellmana, Jena, Floyda-Warshalla oraz Johnsona [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Analizę ich złożoności czasowej oraz przydatności do rozwiązywania zadań z obszaru badania rozbudowanych OT przedstawiono w §2.2.

Jeżeli analizowanym obiektem będzie złożona sieć teleinformatyczna, na wybór konkretnego algorytmu wpływa nie tylko kryterium doboru krawędzi ścieżki, ale również struktura grafu-modelu opisującego sieć. Przyjmijmy, że jego wierzchołki odpowiadają będą jej węzłom, a krawędzie – kanałom komunikacyjnym. Aby ukierunkować procedurę doboru algorytmu, poniżej przedstawiono cechy szczególne grafu opisującego sieć teleinformatyczną. W szczególności, należy zauważyć że:

1. Graf zawierający węzły końcowe (komputery użytkowników) posiada znaczną liczbę wierzchołków połączonych rzadką siecią kanałów komunikacyjnych. Jeżeli n to liczba wierzchołków grafu, a m ilość jego krawędzi to ma miejsce zależność: $m \ll n(n - 1)/2$. Oznacza to, że liczba krawędzi grafu jest wielokrotnie mniejsza od ich ilości w grafie zupełnym. Jeżeli jednak analizowany model nie zawiera jednostek użytkownika, graf ma niewielkie rozmiary, a jego sieć połączeń jest umiarkowanie gęsta;
2. Jeżeli analizowany graf opisuje strukturę fizyczną sieci to jego dolne poziomy (sieci dostępne) są drzewami, a rdzeń jest umiarkowanie gęsty;
3. Ponieważ łączność w analizowanych systemach jest dwukierunkowa, a każdy z kanałów komunikacyjnych posiada ściśle określone, najczęściej symetryczne parametry to sieć ta może być przedstawiona za pomocą grafu nieskierowanego z wielokrotnymi wagami. Jeżeli kanały są asymetryczne to do opisu sieci należy zastosować podobne grafy skierowane;
4. Jeżeli przewiduje się długotrwałe przeciążenie kanałów, graf może posiadać krawędzie o ujemnych wagach. W przeciwnym przypadku, krawędzie takie nie powinny być stosowane;
5. W modelu sieci bezprzewodowych dla połączenia węzła końcowego ze stacją bazową, żadna z wykorzystywanych do tego celu krawędzi nie powinna być narzucona odgórnie. Dla połączeń w rdzeniu sieci, w celu zapewnienia efektywnego wykorzystania istniejącej infrastruktury, niewielka część spośród krawędzi może być określona obligatoryjnie;
6. Jeżeli do dowolnego poziomu rzeczywistej sieci, pomijając najniższy, dodany zostanie kanał komunikacyjny, to dodanie do grafu-modelu odpowiadającej mu krawędzi, wymaga ponownego określenia parametrów pozostałych krawędzi grafu. Włączenie do sieci dodatkowego węzła, zawsze implikuje dodanie do niej kanału komunikacyjnego (patrz pkt. 7);
7. Graf-model musi być spójny. Dlatego, jeżeli wykorzystywane kanały nie łączą wszystkich węzłów sieci, grafu-model może nie zawierać odpowiadających im wierzchołków;
8. W trakcie funkcjonowania sieci, określone wcześniej minimalne ścieżki mogą być modyfikowane. Dlatego, oprócz zestawu minimalnych ścieżek łączących dowolną parę wierzchołków, projektantowi niezbędna jest znajomość architektury samej sieci i zachodzących w niej zmian;
9. Ponieważ tworzone ścieżki mają różne przeznaczenie, waga krawędzi grafu powinna być opisana za pomocą kilku wybranych parametrów, opisujących ją z punktu widzenia konkretnego zadania projektowego.

Podobne, aczkolwiek nieidentyczne cechy można przypisać dowolnemu obiektowi złożonemu z części węzłowej i liniowej. Wykorzystując powyższe ustalenia, dokonamy analizy krytycznej znanych algorytmów poszukiwania najkrótszych ścieżek.

2.2. Algorytmy poszukiwania najkrótszych ścieżek

Po wstępnej analizie uwzględniającej wymagania przedstawione w §2.1, jako podstawę do dalszych rozważań wytypowano zaprezentowane niżej algorytmy. Ich dokładny opis można znaleźć w literaturze [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Algorytm Dijkstry określa najkrótsze ścieżki łączące wybrany wierzchołek ze wszystkimi wierzchołkami grafu. Funkcjonuje on poprawnie wyłącznie dla grafów, w których nie występują krawędzie z ujemną wagą. W trakcie funkcjonowania wykorzystuje on trzy zbiory: M_0 – zawierający wierzchołki, do których odległość została już wyznaczona lub znajduje się na etapie określenia; M_1 z wierzchołkami, do których odległość jest właśnie wyznaczana oraz M_2 grupujący wierzchołki, odległość do których nie została jeszcze wyliczona. W najprostszym przypadku, złożoność algorytmu dla grafu G wynosi $O(n^2 + m)$. Efektywność metody zależy od sposobu wyszukiwania w zbiorze M_1 wierzchołka z minimalną, bieżącą odległością do węzła źródłowego [1], [2], [9], [3].

Zaproponowana przez *Gribova* modyfikacja algorytmu, polega na rozbięciu zbioru wierzchołków na podzbiory zawierające bliskie sobie elementy. Najkrótsze ścieżki łączące je z zadany węzłem, różnią się o odległość mniejszą niż długość minimalnego łuku grafu wykorzystywanego w danym kroku algorytmu. W każdej kolejnej iteracji algorytm wykorzystuje niepusty podzbiór, odpowiadający minimalnej wartości odległości [4], [9].

Algorytm Levita poszukuje zbioru najkrótszych ścieżek łączących zadany wierzchołek ze wszystkimi pozostałymi węzłami grafu. Swoim funkcjonowaniem przypomina on algorytm Dijkstry, podobnie jak on wykorzystuje trzy zbiory M_0, M_1, M_2 . Wierzchołki tworzące zbiór M_1 dzielone są pomiędzy dwoma kolejkami: podstawową i priorytetową. Każdemu z wierzchołków, przypisywana jest nieujemna długość najkrótszej ścieżki, określanej spośród znanych na chwilę obecną, a prowadzących z wierzchołka źródłowego do danego. Niestety, w algorytmie tym wybrane węzły przetwarzane są wielokrotnie, co zwiększa jego złożoność czasową. Z drugiej jednak strony, sposoby włączania i wyłączania wierzchołków do lub ze zbioru M_1 są prostsze, co skutkuje obniżeniem tejże złożoności. Przeprowadzone badania pokazały, że dla sieci z nieregularną strukturą i realnymi odległościami pomiędzy węzłami, algorytm Levita zapewnia największą szybkość spośród wszystkich znanych algorytmów. Minimalna jest również jego złożoność pamięciowa. Ponadto, w odróżnieniu od algorytmu Dijkstry zapewnia on obsługę krawędzi z ujemnymi wagami. Złożoność czasową algorytmu szacuje wyrażenie $O(nm)$ [8], [10], [11], [4].

Kolejny algorytm – *Bellmana-Forda* – rozwiązuje zadanie znajdowania najkrótszych ścieżek łączących wskazany węzeł z wszystkimi pozostałymi wierzchołkami grafu, dopuszczając przy tym ujemne wagi jego łuków. Podobnie jak w algorytmie Dijkstry, opiera się on na sekwencyjnej relaksacji krawędzi, prowadzonej aż do momentu określenia najkrótszej ścieżki. Algorytm sprawdza dodatkowo istnienie cykli z ujemną wagą, osiągalnych z danego wierzchołka. Jeżeli w badanym grafie cykle takie nie istnieją, algorytm znajduje najkrótsze ścieżki pomiędzy zadaniem węzłem a wszystkimi pozostałymi wierzchołkami grafu. W przeciwnym przypadku, przynajmniej dla ograniczonej grupy wierzchołków, ścieżki takie nie istnieją. Złożoność czasowa całego algorytmu wynosi $O(nm)$, w tym złożoność inicjalizacji jest szacowana jako $O(n)$, a sprawdzenia istnienia cyklu z ujemną wagą $O(m)$ [1], [9], [12], [11].

Algorytm Jena przeznaczony jest do wyszukiwania w grafie z nieujemnymi wagami zbioru k ścieżek z minimalną sumaryczną długością, łączących wskazaną parę węzłów. Charakteryzuje go złożoność czasowa rzędu $O(n^2)$. Zakłada on, że znana jest metoda znajdowania w grafie najkrótszej ścieżki pomiędzy daną parą wierzchołków. Przez cały czas funkcjonowania algorytmu, budowana jest lista pretendentów tworzących najkrótsze ścieżki. Algorytm rozpoczyna działanie od znalezienia pierwszej najkrótszej ścieżki. Ponieważ wszystkie kolejne nie powinny pokrywać się z pierwszą, muszą się one różnić od niej przynajmniej jedną krawędzią. Dlatego, z grafu G kolejno usuwa się po jednej krawędzi wchodzącej w skład otrzymanej wcześniej ścieżki. Dla uzyskanych w ten sposób grafów ponownie poszukiwana jest najkrótsze z nich. Otrzymane ścieżki oznaczane są za pomocą usuniętej krawędzi i zostają umieszczone na liście pretendentów. Po zakończeniu powyższej procedury, z listy pretendentów wybierana jest najkrótsza ścieżka. Następna w kolejności najkrótsza ścieżka jest określana analogicznie. W rezultacie, do listy pretendentów dopisujemy k nowych ścieżek, zazwyczaj $k \ll N$. W celu usprawnienia funkcjonowania algorytmu, poszukiwanie ścieżki po usunięciu jednej z krawędzi prowadzone jest jednocześnie z jej obu końców, przy czym używa się do tego drzew rozpinających, otrzymanych dla grafu źródłowego [9], [13], [14], [15].

Algorytm Johnsona przeznaczony jest do określania najkrótszych ścieżek pomiędzy dowolnymi dwoma wierzchołkami grafu skierowanego i został oparty na idei zmiany wag jego krawędzi. Przyjmijmy, że dla krawędzi grafu G można zaproponować funkcję zmieniającą ich wagi, zapewniającą ich nieujemność i pozostawiającą niezmiennymi utworzone wcześniej najkrótsze ścieżki (tj. składają się one z tych samych krawędzi). Wtedy, zadanie poszukiwania najkrótszych ścieżek pomiędzy wszystkimi parami węzłów w grafie zawierającym krawędzie z ujemnymi wagami, w którym jednak nie istnieją ujemne cykle, można rozwiązać za pomocą algorytmu Dijkstry, wykorzystywanego niezależnie dla każdego z wierzchołków. Jeżeli do tego celu zastosujemy kopce Fibonacciego, rozwiązanie zadania charakteryzuje złożoność czasowa rzędu $O(n^2 \log(n) + nm)$. W algorytmie tym można wydzielić dwa elementarne działania: dodawanie wierzchołków oraz

zmiana wag krawędzi. Pierwsze z nich, dodając fikcyjny wierzchołek, jednocześnie łączy go krawędziami o zerowej wadze ze wszystkimi pozostałymi wierzchołkami grafu. Następnie, za pomocą algorytmu Bellmana-Forda, dla każdego wężła i określa się wartość funkcji $P(i)$, będącej długością najkrótszej ścieżki łączącej fikcyjny wierzchołek z dowolnym innym wierzchołkiem. Jako funkcję zmiany wag krawędzi najczęściej wykorzystuje się ruch w kanałach tworzonych przez krawędzie grafu [4], [16], [17], [18].

Algorytm Floyd-Warshalla zaliczamy do grupy dynamicznych algorytmów poszukiwania najkrótszych ścieżek pomiędzy wszystkimi parami wierzchołków grafu skierowanego. Istotną zaletą algorytmu jest prostota realizacji w postaci programu komputerowego, bez względu na wykorzystywany język. Złożoność czasowa algorytmu ma postać $O(n^3)$. Chociaż algorytm ten efektywnie buduje ścieżki pomiędzy wszystkimi parami wierzchołków to nie zachowuje on informacji o najkrótszych spośród nich [9], [15], [19], [20].

Przejdźmy obecnie do analizy przydatności wyszczególnionych wyżej algorytmów. Z dalszych rozważań, bezsprzecznie można wyłączyć algorytm Jena, który przeznaczony jest do poszukiwania ścieżek o długości równej najkrótszej z nich. W rozwiązywanym zadaniu nie mamy gwarancji, że istnieje więcej niż jedna ścieżka o minimalnej długości. Algorytm Johnsona jest efektywny wyłącznie dla grafów rzadkich. Ponieważ w dalszych rozważaniach zakładamy, że wykorzystywać będziemy zarówno grafy rzadkie jak i umiarkowanie gęste, jego przydatność jest ograniczona. Charakterystyki algorytmu Dijkstry są w znacznym stopniu zależne od sposobu wyszukiwania węzłów, które dzieli minimalna bieżąca odległość. Efektywności uważanych za optymalne algorytmów Dijkstry-Gribova oraz Levita są porównywalne. Dla zadań o charakterze geograficznym, drugi z algorytmów charakteryzują lepsze parametry. W przypadku poszukiwania ścieżek wyrównujących obciążenia, lepszymi właściwościami charakteryzuje się pierwszy z algorytmów. W odróżnieniu od metody Dijkstry w algorytmie Levita, niektóre spośród wierzchołków przetwarzane są wielokrotnie, jednak do zarządzania zbiorem wierzchołków V (dodawania i usuwania elementów) wykorzystywane są prostsze metody.

Badania pokazały, że dla tzw. grafów geograficznych, odzwierciedlających strukturę sieci transportowych z rzeczywistymi odległościami, algorytm Levita okazuje się najszybszy. W rozważanym zadaniu, graf źródłowy nie jest jednak tworzony bezpośrednio w oparciu o sieć komunikacyjną, krawędzie z ujemnymi wagami nie występują, a ich waga określana jest nie tylko na podstawie odległości pomiędzy wierzchołkami. Dlatego, algorytm ten, w stosunku do algorytmu Dijkstry nie posiada żadnych istotnych zalet. Niejednoznaczności oceny pojawiają się również przy wykorzystaniu algorytmu Dijkstry-Gribova. W rozwiązywanym zadaniu wagi krawędzi mogą być znaczne, a różnice w wagach niewielkie. W rezultacie, do jednej grupy trafia wiele, a nawet wszystkie wierzchołki, na skutek czego podział węzłów może okazać się nieefektywny.

Powyższa analiza pokazuje, że przy budowie minimalnych ścieżek grafowego modelu OT należy oprzeć się na algorytmie Dijkstry, w szczególności na jego modyfikacjach zmniejszających złożoność obliczeniową.

3. Wielokryterialne poszukiwanie ścieżek komunikacyjnych

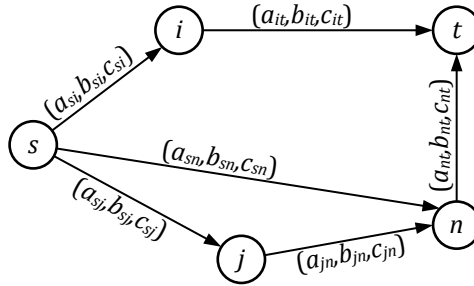
W niniejszym paragrafie, w charakterze obiektu technicznego, nadal będziemy wykorzystywać sieć teleinformatyczną, złożoną z węzłów wyposażonych w urządzenia sieciowe z własną mocą obliczeniową oraz pasywne kanały komunikacyjne. W ogólnym przypadku, zadanie poszukiwania optymalnej ścieżki w takim OT to poszukiwanie sekwencji kanałów i węzłów tworzących trasę najlepszą względem pewnego wskazanego kryterium bądź ich zestawu. Wymaga ono rozwiązania dwóch powiązanych ze sobą podzadań:

1. Określenia zbioru kryteriów doboru trasy;
2. Wyboru metody jej budowy.

Dobór elementów minimalnych ścieżek może być jedno- lub wielokryterialny. Z uwagi na konieczność minimalizacji opóźnień w budowie ścieżki oraz ograniczoną moc obliczeniową urządzeń sieciowych, najczęściej wykorzystuje się prostszą obliczeniowo metodę jednokryterialną. W tej klasie algorytmów zakłada się, że jeden z parametrów ścieżki to kryterium wyszukiwania rozwiązania, pozostałe zaś są ograniczeniami. W tradycyjnych sieciach z niezmienną topologią, kryterium tym jest zazwyczaj opóźnienie transmisji pakietów, które utożsamia się z długością ścieżki komunikacyjnej. Dla innych OT, mogą to być przemieszczane w systemie masy, objętości, energie itp. W takich przypadkach, budowa najkrótszej ścieżki może okazać się kłopotliwym w rozwiązaniu problemem NP-zupełnym.

Dla wielokomórkowych sieci bezprzewodowych, poszukiwanie najkrótszej ścieżki jest znacznie bardziej złożone. Po pierwsze, rozmiary sieci zmieniają się w dużo większym zakresie, niż miało to miejsce dla stacjonarnych sieci przewodowych. Po drugie, budowane są różne typy ścieżek, w szczególności specyficzne w wykorzystaniu ścieżki przemieszczania obciążeń. W rezultacie, liczba wykorzystywanych niezależnych kryteriów i ograniczeń znacznie rośnie. Po trzecie, jednokryterialna synteza ścieżki nie zawsze pozwala uzyskać satysfakcjonujące rozwiązanie. Dlatego, dla każdego z kryteriów lub ich zestawu, należy zagwarantować istnienie efektywnego, skalowalnego algorytmu wyszukiwania ścieżki, którego złożoność powinna rosnać wolniej niż rozmiary sieci. Zastosowane kryteria, muszą uwzględniać podstawowe charakterystyki komunikacyjne sieci, a wymagania dotyczące granicznych poziomów jakości obsługi być skorelowane z ograniczeniami wartości parametrów kanałów. Z drugiej strony, kryteria wykorzystywane przy projektowaniu ścieżek powinny uwypuklać te spośród parametrów, które stanowią przedmiot zainteresowania użytkownika i zależą od samej sieci.

Rozważmy przedstawiony na rys. 1 grafowy model OT, w którym oprócz topologii połączeń, określono charakterystyki kanałów komunikacyjnych.



Rys. 1. Grafowy model obiektu technicznego

Terminem *stan kanału połączeniowego* będziemy określać zestaw charakterystyk określających jego właściwości. Na rys. 1 określamy nim trójkę zmiennych (a, b, c) , opisujących, na przykład, przepustowość a , opóźnienie b oraz stopę błędów c . Informacja o parametrach kanałów, może być przechowywana w każdym węzle końcowym, może być również zlokalizowana w specjalnej stacji zarządzającej, dostępnej wszystkim sprzętowym komponentom sieci. Pojęciem *trasa dopuszczalna*, określać będziemy ścieżkę spełniającą wszystkie wymagania jakościowe dotyczące obsługi komunikacyjnej.

W odróżnieniu od rozpatrywanych dotąd, model z rys. 1 to skierowany graf ważony $G = (V, E)$, gdzie: V - zbiór jego wierzchołków odpowiadających węzłom sieci, $|V| = m$; E - zbiór łuków odpowiadających kanałom połączeniowym, $|E| = m$. *Symetrycznym* nazywać będziemy kanał złożony z dwóch łuków o przeciwnym kierunku i identycznych parametrach komunikacyjnych. W szczególnym przypadku, kiedy wszystkie kanały są symetryczne, do projektowania możemy zastosować prostsze algorytmicznie i obliczeniowo ważne grafy nieskierowane.

Nie ulega wątpliwości, że zastosowanie metody wielokryterialnej prowadzi do uzyskania sieci o lepszych parametrach komunikacyjnych. Nie oznacza to jednak rezygnacji z metody jednokryterialnej. Jeżeli liczba kanałów wchodzących w skład ścieżki jest znaczna, a sama sieć złożona, zastosowanie wyszukiwania wielokryterialnego, w którym parametry każdej ze ścieżek będą występować jawnie, z obliczeniowego punktu widzenia jest bardzo trudne. Celem prowadzonych badań jest opracowanie szybkich i skutecznych metod walki z zagrożeniami technicznym. Wyszukiwanie wielokryterialne może być procesem długotrwałym, przez co jego przydatność do rozwiązywania stojących zadań jest ograniczona do obszaru zagrożeń wolnozmiennych. Z drugiej jednak strony, wykorzystanie wyłącznie jednego kryterium może okazać się niesatysfakcjonujące. Po pierwsze, do utworzenia akceptowalnej ścieżki, konieczne może być uwzględnienie nie jednego, a kilku parametrów kanału lub trasy komunikacyjnej. Po drugie, procedura projektowania może wymagać uwzględnienia charakterystyk kilku kanałów tworzących ścieżkę. Dlatego, pojedyncze kryterium W oceny ścieżki, powinno być utworzone na bazie kryteriów cząstkowych w_1, \dots, w_l , opisujących poszczególne parametry kanału lub ich zbioru.

Dla ilustracji metody wielokryterialnej, wykorzystamy przykład z rys. 1. Sposoby przełożenia ocen cząstkowych na ocenę końcową dzielimy na trzy typy: addytywne, multiplikatywne oraz wklęsłe. Dalej, rozważać będziemy ścieżkę postaci $P = i \rightarrow j \rightarrow k \rightarrow \dots \rightarrow s \rightarrow t$, której kryteria oceny kanałów oznaczymy odpowiednio: $w(i, j), w(j, k), \dots, w(s, t)$. Ocena końcowa $W(P)$ ścieżki będzie addytywna jeżeli:

$$W(P) = w(i, j) + w(j, k) + \dots + w(s, t), \quad (1)$$

multiplikatywna w przypadku, kiedy:

$$W(P) = w(i, j) \cdot w(j, k) \cdot \dots \cdot w(s, t), \quad (2)$$

a wklęsła, jeśli:

$$W(P) = \min(w(i, j), w(j, k), \dots, w(s, t)). \quad (3)$$

Parametr $w(i, j)$ opisujący charakterystyki (i, j) -ego kanału komunikacyjnego może być jedną z wielkości wyszczególnionych w opisie rys. 1. Może być on również addytywnym, multiplikatywnym lub wklęsłym zwnięciem kilku wielkości.

Ponieważ poszukiwanie minimalnych ścieżek jest zadaniem najczęściej rozwiązywanym w ramach opisywanych badań, opracowano metodę poszukiwania w grafie-modelu OT rozwiązań suboptymalnych, dla obiektów złożonych z homogenicznych regionów, na przykład, wielokomórkowych sieci bezprzewodowych. Rozważmy definicję zadania wielokryterialnego poszukiwania ścieżki w grafie skierowanym $G = (V, E)$, będącym modelem hierarchicznego OT. Przyjmijmy, że R^+ , to zbiór dodatnich liczb rzeczywistych, a I jest zbiorem dodatnich liczb całkowitych. Dalej, analizować będziemy ścieżkę, której wierzchołek s będzie źródłem, a t przeznaczeniem. Trasę opisywać będą dwie funkcje kosztów: $w_1: E \rightarrow R^+$ oraz $w_2: E \rightarrow R^+$, których znaczenie zostało ograniczone odpowiednio stałymi: $B \in R^+$ dla w_1 oraz $D \in R^+$ dla w_2 . Zadanie $WKPS(G, s, t, w_1, w_2, B, D)$ wielokryterialnego poszukiwania ścieżki w grafie G , polega na określeniu możliwej do zrealizowania trasy P , łączącej wierzchołek s z t , spełniającej warunki $w_1(P) \geq B$ oraz $w_2(P) \leq D$. Jeżeli taka trasa nie istnieje, zadanie $WKPS$ nie posiada rozwiązania.

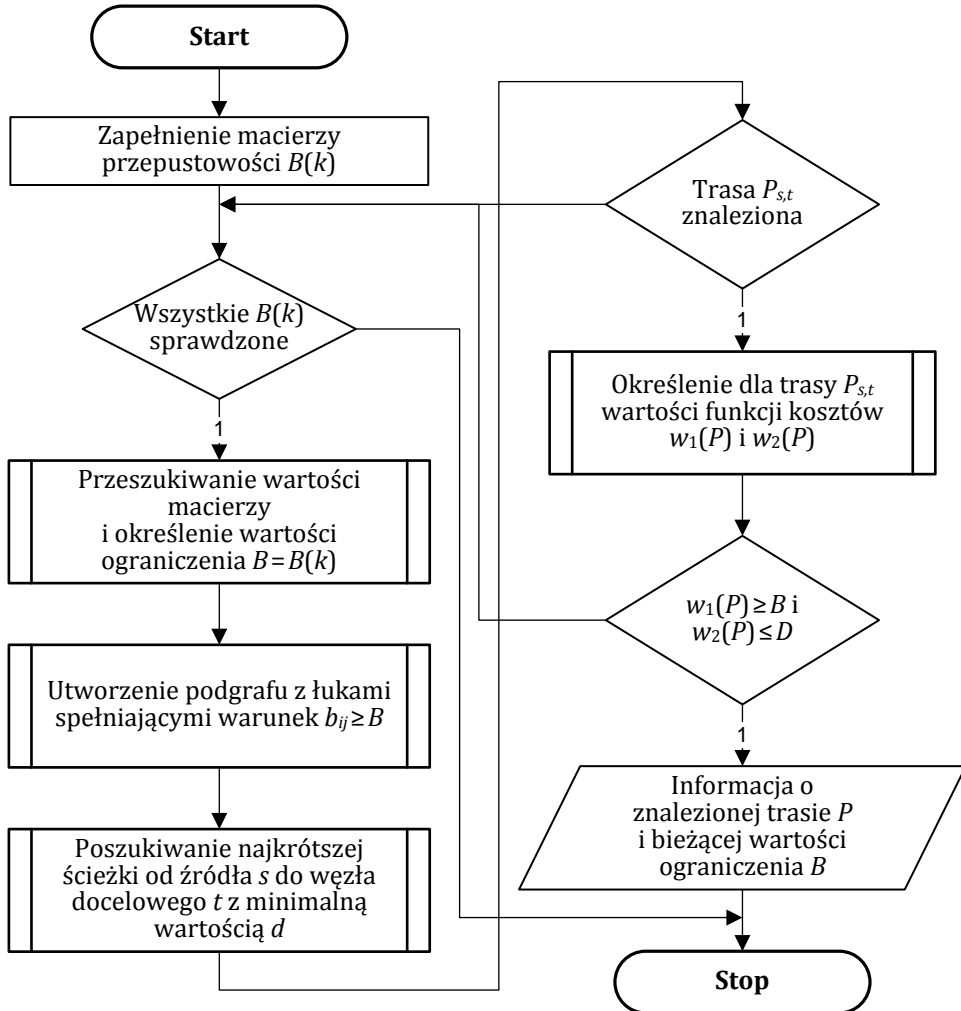
Przeanalizujmy ścieżkę $P = v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow \dots \rightarrow v_k$, dla której funkcje $w_1(P)$ oraz $w_2(P)$ określane są odpowiednio:

$$w_1(P) = \min(w_1(v_{i-1}, v_i)), \text{ dla } i = 0, \dots, i, \quad (4)$$

$$w_2(P) = \sum_{i=1}^k w_2(v_{i-1}, v_i). \quad (5)$$

Pierwsze z kryteriów jest wypukłe, drugie zaś addytywne. Kryteria $w_1(P)$ oraz $w_2(P)$ mogą odpowiednio opisywać przepustowość ścieżki P , ograniczoną wartością B oraz jej opóźnienie komunikacyjne ograniczone znaczeniem D . Trasę P spełniającą ograniczenia $w_1(P) \geq B$ oraz $w_2(P) \leq D$ nazywamy rozwiązaniem zadania $WKSP(G, s, t, w_1, w_2, B, D)$.

Procedura projektowania ścieżki została schematycznie przedstawiona na schemacie blokowym z rys. 2. Podobnie jak wcześniej, przyjęto że kryterium w_1 będzie odzwierciedlać przepustowość, zaś w_2 opóźnienie. Jej danymi wejściowymi są: zbiór V wierzchołków grafu-modelu G ; zbiór E jego krawędzi; wierzchołek źródłowy s ; wierzchołek docelowy t , stałe D i B występujące w roli ograniczeń projektowania oraz przepustowości dostępnych kanałów komunikacyjnych.



Rys. 2. Rozwiązanie zadania wielokryterialnego poszukiwania ścieżki

Procedura składa się z trzech podstawowych komponentów, realizujących określoną zamkniętą funkcję. Pierwszy z nich, wykorzystując wypukłość ograniczenia na przepustowość ścieżki, buduje podgraf H grafu G , zawierający wyłącznie krawędzie posiadające minimalną, wymaganą przepustowość. Dzięki temu, z procedury są eliminowane krawędzie niespełniające warunku przepustowości, anali-

zowana jest mniejsza ilość wariantów rozwiązania i poszukiwana ścieżka otrzymywana jest w krótszym czasie. W tym celu, dla grafu G określana jest dwuwymiarowa macierz $B_{m \times 2} = (b_i, u_i)$, gdzie: b_i – przepustowość i -tego kanału komunikacyjnego, $i = 1, \dots, m$; $m = |E|$, u_i – współczynnik określany w dalszej części procedury, $u_i = \{0, 1\}$. Następnie, iteracyjnie sprawdza możliwość budowy ścieżki: jeżeli chociażby jedna z krawędzi grafu G posiada przepustowość większą od zadanego ograniczenia, procedura budowy ścieżki jest kontynuowana. W przeciwnym przypadku jest ona przerywana i podawana jest informacja, że ścieżka o zadanych parametrach nie może być utworzona. Dalej, w macierzy $B(k, u)$ wyszukuje się krawędzie spełniające ograniczenie przepustowości ścieżki, opisując je wartością $u_i = 1$, dla pozostałych $u_i = 0$. W oparciu o zawartość $B(k, u)$ buduje się podgraf H grafu G , utworzony wyłącznie przez krawędzie spełniające wymagania przepustowości ścieżki.

Drugi etap procedury to budowa ścieżki o minimalnym koszcie pomiędzy źródłem s a przeznaczeniem t . Do tego celu można zastosować dowolny z przedstawionych wcześniej algorytmów, w analizowanym przypadku zastosowanie znajduje algorytm Dijkstry. Utworzenie ścieżki kończy drugi etap procedury. Jeżeli wymagana ścieżka nie zostanie utworzona, modyfikuje się ograniczenia na przepustowość, buduje nowy podgraf H i ponownie poszukuje się ścieżki.

Trzeci etap procedury, sprawdza spełnienie przez utworzoną ścieżkę warunków w_1 oraz w_2 . Jeżeli są one wypełnione, procedura kończy swoje działanie, w przeciwnym przypadku poszukiwanie ścieżki jest powtarzane.

W niektórych zastosowaniach, może pojawić się potrzeba projektowania ścieżki w oparciu o trzy kryteria. Rozwiązania podobnych zadań są znane, jednak charakteryzują się wysoką złożonością czasową. Dlatego zaproponowano metodę, w której rozwiązanie zadania z trzema kryteriami, sprowadza się do rozwiązania zadania dwukryterialnego. Dzięki temu, poszukiwanie ścieżki odbywa się kosztem tylko nieznacznego zwiększenia złożoności czasowej. W tym celu wykorzystuje się mieszaną funkcję wagową $u_{(i,j)}$.

Z uwagi na specyfikę analizowanych obiektów technicznych, jednym z najczęściej wykorzystywanych kryteriów oceny kanału komunikacyjnego jest prawdopodobieństwo utraty pakietu. Ponieważ rozpatrywana sieć powinna gwarantować dostawę informacji do odbiorcy, w protokoły komunikacyjne zostały wbudowane mechanizmy powtarzania transmisji pakietów, które nie zostały dostarczone do węzła przeznaczenia. Skutkiem powtórnej transmisji jest pojawienie się dodatkowego opóźnienia $m_{(i,j)}$, określanego wyrażeniem:

$$m_{(i,j)} = g d_{(i,j)}, \quad (6)$$

gdzie: g – współczynnik proporcjonalności, zależny od wykorzystywanego protokołu komunikacyjnego; $d_{(i,j)}$ – średnie opóźnienie kanału komunikacyjnego (i, j) . Wykorzystując wyrażenie (6), funkcję wagi $u_{(i,j)}$ możemy przedstawić jako:

$$u_{(i,j)} = d_{(i,j)} + s_{(i,j)}m_{(i,j)} = d_{(i,j)} + s_{(i,j)}gd_{(i,j)} = d_{(i,j)}(1 + s_{(i,j)}g),$$

gdzie: $s_{(i,j)}$ – współczynnik utraty pakietów w kanale (i, j) .

Jeżeli do określenia funkcji u dla ścieżki P wykorzystamy addytywną zasadę aglomeracji, to będzie miała ona postać:

$$U(P) = \sum_{i=1}^k u(v_{i-1}, v_i). \quad (7)$$

Dzięki temu, rozwiązanie zadania projektowego z trzema kryteriami może być zrealizowane z wykorzystaniem algorytmu przedstawionego na rys. 2.

4. Zmienność parametrów kanałów komunikacyjnych

Współczesne sieci rozległe są z definicji heterogeniczne komunikacyjnie. Dlatego, w ich rdzeniu mogą być szeroko stosowane dwupunktowe technologie transmisyjne. Możliwości ich zestawienia posiada wiele spośród wykorzystywanych obecnie technologii, które oferują szybką budowę bezpośrednich połączeń logicznych pomiędzy dowolną parą węzłów. W odniesieniu do rdzenia sieci dedykowane kanały dwupunktowe są bardzo atrakcyjnym rozwiązaniem, pozwalającym elastycznie dostosowywać strukturę jego połączeń do aktualnego wzorca ruchu. Jednak ich praktyczne wykorzystanie charakteryzuje się ograniczoną efektywnością. Po pierwsze, w systemach z wysoką dynamiką zmian charakterystyk ruchu, krótkotrwałe zastosowanie dedykowanej struktury połączeń może być nieopłacalne – czas ich zestawienia nierzadko jest porównywalny z czasem trwania ruchu o specyficznych charakterystykach. W takim przypadku, korzystniejszym niż rekonfiguracja okazuje się przysposobienie sieci do pracy w trybie chwilowego przeciążenia. Po drugie, kanały komunikacyjne, w szczególności w sieciach bezprzewodowych, charakteryzuje wysoka niestabilność większości parametrów. Najczęściej jest ona konsekwencją zmian charakterystyk obsługiwanego ruchu oraz właściwości otoczenia (zanieczyszczenie środowiska, niekorzystne warunki pogodowe, konkurowanie o dostęp do kanału).

Rekonfiguracja jako reakcja na zmianę wzorca ruchu ma ograniczone zastosowanie. Jest ona jednak skutecznym narzędziem rozwiązania problemów niestabilności charakterystyk kanałów komunikacyjnych. Ponieważ to właśnie kanały tworzą analizowane ścieżki, znaczącą niestabilnością parametrów charakteryzującą się również te ostatnie. Aby zapewnić stabilne funkcjonowanie ścieżek utworzonych za pomocą zaproponowanych algorytmów, w algorytmach ich projektowania zastosowano dodatkowe parametry opisujące zmienność wybranych charakterystyk. Tak więc, zmianę przepustowości $b_{(i,j)}$ kanału komunikacyjnego oznaczmy $\Delta b_{(i,j)}$, zmianę opóźnienia $d_{(i,j)}$ jako $\Delta d_{(i,j)}$. Parametry te, podobnie jak ich pierwowzory, określane są dla każdego z analizowanych sieciowych kanałów komunikacyjnych.

Zmienność właściwości w czasie wymaga okresowej aktualizacji ich wartości, która powinna być wykonywana jednocześnie w całej sieci. Jako aktywizujące kryterium aktualizacji wykorzystamy czas. Wartość parametru zmienności przepustowości kanału przed aktualizacją oznaczymy symbolem $\Delta b_{(i,j)}^1$, a po aktualizacji $\Delta b_{(i,j)}^2$. Identyczną zasadę oznaczania wykorzystamy również do określenia wartości przepustowości, którą przedstawimy symbolami: $b_{(i,j)}^1$ – wartość przepustowości przed aktualizacją oraz $b_{(i,j)}^2$ – wartość po aktualizacji. Podobnie oznaczać będziemy ewolucję opóźnień oraz wartości: $\Delta d_{(i,j)}^1$ – zmiana opóźnienia w kanale (i, j) przed aktualizacją; $\Delta d_{(i,j)}^2$ – zmiana opóźnienia po aktualizacji; $b_{(i,j)}^1$ – wartość opóźnienia w kanale (i, j) przed aktualizacją; $b_{(i,j)}^2$ – wartość opóźnienia po aktualizacji.

Dysponując informacjami o stanie kanału komunikacyjnego, na podstawie formuł analitycznych charakterystycznych dla każdego protokołu, można prosto oszacować wartości przepustowości $b_{(i,j)}$ oraz opóźnień $d_{(i,j)}$. Z kolei współczynniki zmian parametru określamy, jako różnicę poprzedniego i obecnego znaczenia danej charakterystyki w sieci. Przypuścimy, że w analizowanej sieci wykorzystywany będzie protokół TCP. Wtedy do określenia wartości $\Delta b_{(i,j)}$ można skorzystać z wyrażenia otrzymanego poprzez modyfikację wzoru Jacobsona:

$$\Delta b_{(i,j)}^2 = k\Delta b_{(i,j)}^1 + (1-k)|b_{(i,j)}^2 - b_{(i,j)}^1|, \quad (8)$$

gdzie: k – współczynnik stabilności informacji historycznej, określający jak szybko z procedury usuwana jest informacja o wartości zmiennej $\Delta b_{(i,j)}^1$, $k < 1$, wartość $(1-k)$ opisuje jak szybko $\Delta b_{(i,j)}^2$ zdąża do wartości $|b_{(i,j)}^2 - b_{(i,j)}^1|$. Bazując na analogicznych rozważaniach, otrzymujemy wyrażenie służące do określania wartości $\Delta d_{(i,j)}^2$ zmiany opóźnienia:

$$\Delta d_{(i,j)}^2 = k\Delta d_{(i,j)}^1 + (1-k)|d_{(i,j)}^2 - d_{(i,j)}^1|. \quad (9)$$

Jak pokazały przeprowadzone badania, powyższe zasady uwzględniania zmian parametrów mogą być prosto uogólnione na inne typy obiektów technicznych.

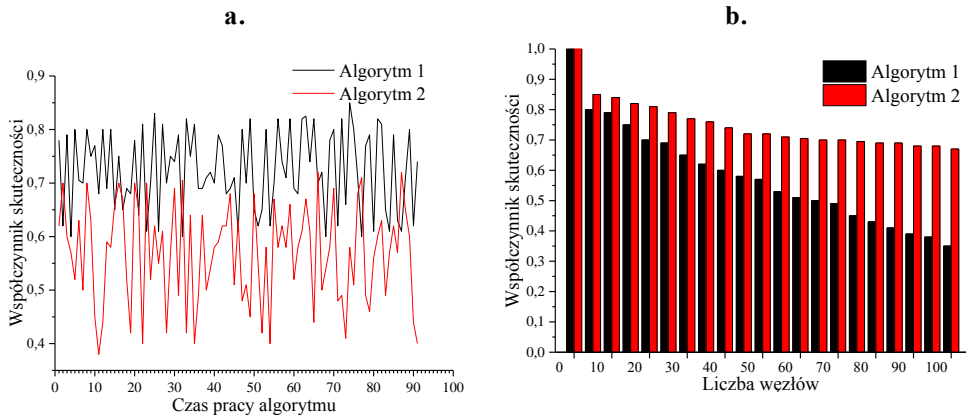
5. Analityczne badania algorytmów

W ramach badań analitycznych skoncentrowano się na porównaniu zaproponowanego algorytmu z klasycznymi metodami wielokryterialnego poszukiwania ścieżek. W tym celu, opracowany algorytm (dalej Algorytm 1) porównano z klasycznym podejściem (Algorytm 2), w którym ścieżka tworzona jest sekwencyjnie, kolejno dla każdego z ograniczeń, w danym przypadku – trzech. Na początku, tradycyjny algorytm określa ścieżkę charakteryzującą się minimalnym opóźnieniem, łączącą węzły źródłowy i docelowy. Następnie, jeżeli utworzono kilka ścieżek, spośród nich wybierana jest ta z maksymalną przepustowością. Jeżeli w rezulta-

cie wykonania drugiego kroku, ponownie uzyskano kilka ścieżek, wybierana jest ta charakteryzująca się minimalnym współczynnikiem błędów.

Jako kryterium oceny rozwiązania, wykorzystano współczynnik skuteczności, określający udział pakietów poprawnie przesłanych po sieci w ich ogólnej liczbie. W eksperymencie założono, że pakiety wysyłane są przez węzeł źródłowy permanentnie, a ich utrata to przede wszystkim konsekwencją czasu niezbędnego na zestawienie ścieżki. Ponadto, wpływ na współczynnik skuteczności ma niemożność zestawienia ścieżki z zadanymi parametrami. W takim przypadku, zgodnie z zaproponowaną procedurą wymagania dotyczące jakości ścieżki są rozluźniane, a procedura jej budowy powtarzana.

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów zostały zaprezentowane na rys. 3. Pierwszy z wykresów (rys. 3a.) ilustruje zmianę współczynnika skuteczności w sieci złożonej z 1000 węzłów z losowym generowaniem parametrów kanałów oraz końcowych węzłów ścieżki. Żądania zestawiania i usuwania ścieżek są zgłaszane tak, aby obciążenia kanałów były nie mniejsze niż 60% ich przepustowości. Drugi z wykresów (rys. 3b.) pokazuje uśrednioną skuteczność dla różnych rozmiarów sieci i stałego obciążenia. Wyniki eksperymentów pokazują, że zastosowanie zaproponowanej metody poprawia współczynnik skuteczności średnio o 15-17%.



Rys. 3. Wyniki badań analitycznych

6. Podsumowanie i dalsze prace

W rozdziale przedstawiono dogłębną analizę metod rozwiązania zadania poszukiwania minimalnej ścieżki łączącej wskazaną parę węzłów. Z powodów praktycznych ograniczono się do badania ograniczonej grupy obiektów technicznych, w szczególności systemów teleinformatycznych złożonych z zestawu węzłów, wyposażonych w dysponujące własną mocą obliczeniową urządzenia przetwarzające oraz pasywne kanały komunikacyjne. W celu dodania ogólności rozwiązywanemu zdaniu założono, że analizowany obiekt składa się z zbioru regionów,

nazywanych komórkami. Dzięki takiemu założeniu uogólnienie wyników badań na inne obiekty infrastruktury jest stosunkowo proste.

Dalsze prace autorów będą skoncentrowane na:

1. Dostosowaniu opracowanych metod i algorytmów do wykorzystania w środowisku grafów rzadkich;
2. Uwzględnieniu nieokreśloności danych wejściowych procesu tworzenia ścieżek;
3. Uogólnieniu wyników na inne obiekty infrastrukturalne.

Planuje się również przygotowanie opracowanych algorytmów w postaci gotowych do wykorzystania programów aplikacyjnych.

Bibliografia

- [1] T. H. Cormen, C. E. Leiserson i R. Rivest, Wprowadzenie do algorytmów, Warszawa: WNT, 2004.
- [2] S. Dasgupta, C. Papadimitriou i U. Vazirani, Algorytmy, Warszawa: PWN, 2010.
- [3] K. A. Ross i C. R. Wright, Matematyka dyskretna, Warszawa: PWN, 2011.
- [4] J. Bang-Jensen i G. Z. Gutin, Digraphs: Theory, Algorithms and Applications, London: Springer, 2010.
- [5] Z. Bubnicki, Teoria i algorytmy sterowania, Warszawa: PWN, 2005.
- [6] R. Bird, Pearls of Functional Algorithm Design, Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [7] E. Krok i Z. Stempnakowski, Podstawy algorytmów. Schematy blokowe, Warszawa: PWN, 2008.
- [8] M. D. Vose, The Simple Genetic Algorithm: Foundations and Theory, Boston: The MIT Press, 1999.
- [9] R. Diestel, Graph Theory, 4 red., New York: Springer, 2010.
- [10] A. V. Goldberg i T. Radzik, „A heuristic improvement of the Bellman-Ford algorithm”, *Applied Mathematics Letters*, tom 6, nr 3, pp. 3-6, 1993.
- [11] D. Blostein i Y.-B. Kwon, Graphics Recognition. Algorithms and Applications: 4th International Workshop, New York: Springer, 2002.
- [12] C. A. Oliveira i P. M. Pardalos, Mathematical Aspects of Network Routing Optimization, New York: Springer, 2011.
- [13] J. Wang, Z. Ding i C. Jiang, „An Ontology-based Public Transport Query System”, w *First International Conference on Semantics, Knowledge and Grid*, 2005.
- [14] M. Gheorghie, T. Hinze, G. Pun, G. Rozenberg i A. Salomaa, Membrane Computing: 11th International Conference, New York: Springer, 2011.
- [15] M. van Steen, Graph Theory and Complex Networks: An Introduction, Maarten van Steen, 2010.
- [16] D. S. Johnson, „Approximation algorithms for combinatorial problems”, *Journal of Computer and System Sciences*, tom 9, nr 3, pp. 256-278, 1974.

-
- [17] C. J. Ong i E. G. Gilbert, „The Gilbert-Johnson-Keerthi distance algorithm: a fast version for incremental motions”, w *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1997.
 - [18] J. Chen, D. K. Friesen i H. Zheng, „Tight bound on Johnson's algorithm for Max-SAT”, *Computational Complexity*, 1997.
 - [19] B. Bollobas, *Modern Graph Theory*, New York: Springer, 1998.
 - [20] D. B. West, *Introduction to Graph Theory*, 2 red., New Jersey: Prentice Hall, 2000.
 - [21] L. N. Medford-Davis i B. G. Kapur, „Preparing for effective communications during disasters lessons from a World Health Organization quality improvement project”, *International Journal of Emergency Medicine*, nr 7:15, pp. 1-7, 2014.

ROZDZIAŁ 18

Analiza funkcjonalno-eksploatacyjnych charakterystyk hierarchicznych sieci komunikacyjnych

Mirosław HAJDER^{*}, Mariusz NYCZ[♦], Paweł RÓŻYCKI^{*}

^{*}Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie

[♦]Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

Miroslaw.Hajder@gmail.com, MNycz@prz.edu.pl, PRozycki@wsiz.rzeszow.pl

Streszczenie

W rozdziale opisano rozwinięcie teorii systemów hierarchicznych na obszar teleinformatyki. Zaproponowano, bazujący na teorii grafów, matematyczny opis systemów rozległych o strukturze hierarchicznej. Opisano nowe podejście do tworzenia systemów hierarchicznych, bazujące na rozbudowanej operacji osadzania, określono powiązania pomiędzy różnymi typami tej operacji. Zdefiniowano i udowodniono szereg twierdzeń dokumentujących właściwości systemów tej klasy. Przedstawiono miejsce technologii MPLS w budowie hierarchicznych systemów teleinformatycznych.

1. Definicje i obszar badań

Współczesne rozległe systemy teleinformatyczne (RST) to heterogeniczne, wielopoziomowe architektury hierarchiczne złożone z 3-5 poziomów komunikacyjnych [1]. Potrzeba ich hierarchizacji wynika m.in. z różnorodności wymagań stawianych przez użytkowników końcowych, szerokiego asortymentu oraz wielorakości charakterystyk urządzeń wykorzystywanych do ich budowy, a także ze złożoności zarządzania RST, szczególnie w planie organizacyjno-technicznym. Choć teoretycznie, można projektować i budować homogeniczne komunikacyjnie RST, w rzeczywistości obfitość różnorodnych technik komunikacyjnych implikuje ich heterogeniczność. Heterogeniczność komunikacyjna posiada wiele zalet, m. in.: zapewnia szeroki asortyment sposobów integracji użytkowników z siecią oraz możliwość budowy na jej wyższych poziomach, wieloprotokołowych, multimedialnych systemów łączności.

Badania w ramach projektu: „Nowe metody analizy i optymalizacji architektury złożonych sieci telekomunikacyjnych następnej generacji”.

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu Państwa w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007 – 2013. Inwestujemy w rozwój województwa podkarpackiego.

Zainteresowanie hierarchicznością, wynika z potrzeby posiadania łatwo rekonfigurowanych kanałów komunikacyjnych, wykorzystywanych do przesyłania informacji pomiędzy węzłami sieci rozległej. Za podstawę ich realizacji może posłużyć technologia MPLS (ang. *Multiprotocol Label Switching*).

W dotychczasowych pracach [2], [3], [4], [5], analizę sieci hierarchicznych ograniczono wyłącznie do architektur dwupoziomowych z projekcją topologii logicznej na zasoby sieci fizycznej. Podejście takie trywializuje problem i ma kilka istotnych wad, z których najważniejsze to:

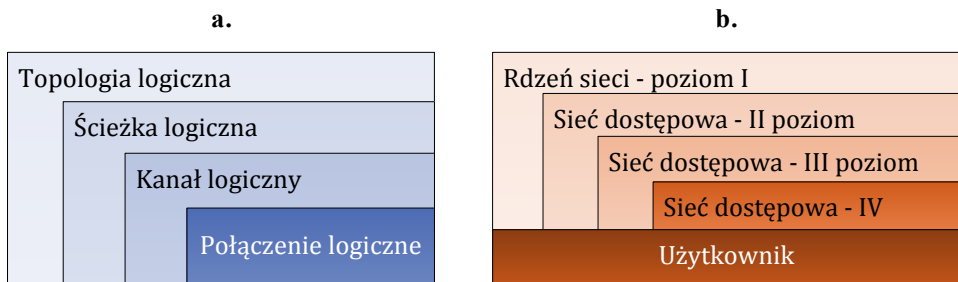
1. Skoncentrowanie się na ścieżkach logicznych jako podstawowych elementach sieci połączeń, co zbytnio upraszcza rozwiązywany problem;
2. Ignorowanie hierarchiczności funkcjonalnych powiązań komponentów architektury komunikacyjnej;
3. Ograniczenie do dwóch ilości analizowanych poziomów, uniemożliwiające syntezę i analizę rzeczywistych systemów;
4. Brak parametrów określających poziom korelacji fizycznych i logicznych charakterystyk połączeń;
5. Zastosowanie do morfologicznego opisu sieci, klasycznych reprezentacji grafowych lub macierzowych, ograniczające możliwości jej badania.

W rozdziale, wykorzystując metody teorii grafów [6], [7], [8], [9], [10] oraz wielopoziomowych systemów hierarchicznych [11], [12], [13], minimalizuje się powyższe wady. W tym celu, architekturę połączeń należy sprowadzić do postaci wielopoziomowej struktury hierarchicznej. Następnie, do jej syntezy i analizy można zastosować metody optymalizacji kombinatorycznej, zaimplementowane do rozwiązania zadań teorii wielopoziomowych systemów hierarchicznych. Hierarchizacja wykonywana będzie na bazie osadzania, którego narzędziem realizacji jest wielokanałowość. Takie podejście zakłada, że pojęciem pierwotnym dalszych rozważań jest wielokanałowość, oferowana m. in. przez MPLS. W celu ograniczenia obszaru zainteresowań przyjęto, że hierarchia kanałów posiada organizację hierarchii wieloeszelonowej [14], [15], [16].

Analiza wykorzystania technologii MPLS w sieciach hierarchicznych wymaga oryginalnego zdefiniowania pojęcia osadzania. W klasycznych pracach [17], [18], [19] osadzanie (ang. *embedding*) polega na umieszczaniu grafu-gościa w węzłach grafu-gospodarza, do czego wykorzystywana jest funkcja odwzorowania. Rezultatem osadzania jest nowa sieć, której parametry są dziedziczone z grafów źródłowych. Dotąd, jako funkcję odwzorowania wykorzystywano najczęściej iloczyn kartezyjski, zapewniający addytywne i multiplikatywne dziedziczenie parametrów. Takie osadzanie ma charakter teorio-grafowy i zostało nazwane osadzaniem topologii. W dotychczasowych badaniach koncentrowano się na wykorzystaniu iloczynu kartezyjskiego do budowy skalowalnych organizacji topologicznych, sieci sortujących oraz odpornych na uszkodzenia sieci połączeniowych. Jako bazy, wykorzystywano standardowe topologie, takie jak: pierścień, drzewo, hi-

persześcian, toroid itd. Z punktu widzenia rozpatrywanych zagadnień, osadzenie topologii ma znaczenie drugorzędne.

Osadzanie proponuje się rozwinąć o nowe jego typy: osadzanie komponentów komunikacji, osadzanie sieci fizycznych oraz osadzanie logicznych sieci połączeniowych. Pojęciem komponentu komunikacji określono rzeczywiste bądź wirtualne środowisko transmisji, łączące parę węzłów (logicznych lub fizycznych) tego samego poziomu hierarchii technologii. Przykładami komponentów są kanały oraz ścieżki logiczne, a także analogiczne im komponenty fizyczne. Zakłada się, że wielokanałowość dostępna jest we wszystkich wykorzystywanych technologiach i stanowi podstawę tego typu osadzania. W rezultacie, w kanale k -tej warstwy może funkcjonować wiele podkanałów niższego ($k + 1$)-ego poziomu, zbiór kanałów k -tego poziomu może zostać osadzony w kanale logicznym warstwy ($k - 1$) lub bezpośrednio w kanale fizycznym stanowiącym poziom 1 (tzw. osadzanie pionowe). Ścieżka logiczna k -tego poziomu może być zbiorem jego kanałów logicznych, opartych o różne kanały warstwy ($k - 1$) (tzw. osadzanie poziome). Osadzanie komponentów opisuje hierarchia odzwierciedlająca wzajemne relacje pomiędzy środkami komunikacji międzywęzłowej, nazywana hierarchią komponentów komunikacji. Przykład hierarchii komponentów logicznych (wirtualnych) przedstawiono na rys. 1a.



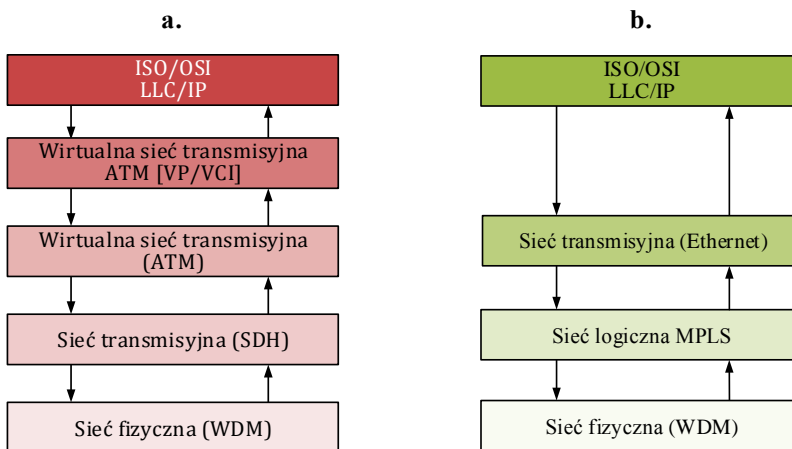
Rys. 1. Hierarchiczna organizacja komunikacji

Osadzanie i hierarchizację można wykorzystać również do budowy hierarchii sieci fizycznych, które w ogólnym przypadku, składają się z rdzenia, zbioru sieci dostępowych oraz obsługujących użytkowników węzłów końcowych. W takim przypadku, mówimy o osadzaniu fizycznych sieci połączeniowych. Ten rodzaj osadzania jest zbliżony do tradycyjnego, opisanego m. in. w pracach [17], [18], [20]. Sieć połączeniowa niższego poziomu, osadzana jest w węzle sieci wyższej warstwy lub w ich zbiorze. Z punktu widzenia teorii grafów, sieci dostępowe reprezentowane są lasem niespójnych grafów. Ponieważ, osadzanie nie musi dotyczyć wszystkich węzłów i może obejmować wyłącznie ich ograniczony zbiór, hierarchia fizycznych sieci połączeniowych jest niejednorodna. Przykład takiej hierarchii został pokazany na rys. 1b. Choć w realnych rozwiązaniach użytkownik końcowy dołączany jest przede wszystkim, do sieci dostępowych IV poziomu, nic

nie stoi na przeszkodzie, aby dołączyć go do innych warstw, w tym również bezpośrednio do rdzenia sieci.

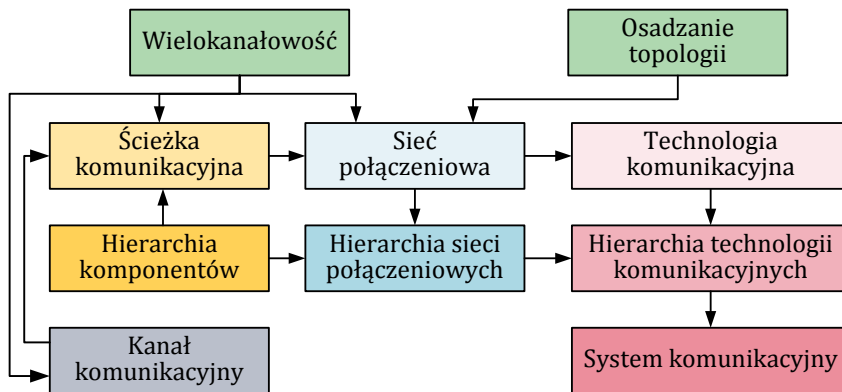
Kolejnym, nowym typem osadzania jest osadzanie sieci połączeniowych. W odróżnieniu od klasycznego podejścia, sieć połączeniowa niższego poziomu jest wpisywana w całą lub znaczną część sieci warstwy wyższej, a nie wyłącznie w jej węzeł lub kanał komunikacyjny. Jest to realizowane poprzez osadzanie w sieci $(k - 1)$ -go poziomu ścieżek logicznych k -tej warstwy, przy zachowaniu relacji ekwiwalentności węzłów różnych poziomów hierarchii. Wynikiem takiego osadzania nie będą nowe sieci, a wyłącznie implementacja sieci niższego poziomu na zasobach sieci rozmieszczonej wyżej w hierarchii sieci połączeniowych. Teoriografowe właściwości osadzonej sieci są określane wyłącznie przez nią samą, a cechy transportowe przekazywane przez poziomy wyższe od tego, na którym utworzona została nowa sieć. Osadzanie to, można rozpatrywać, jako funkcjonalne rozwinięcie osadzania komponentów komunikacji. W znanej literaturze [17], [18], [21], osadzanie sieci ma charakter dwupoziomowy (sieć logiczna osadzana jest na zasobach sieci fizycznej). W prowadzonych badaniach nie ograniczono liczby poziomów osadzania tworzących hierarchię.

Kolejny, ostatni już rodzaj osadzania to osadzanie technologii, polegające na uruchomieniu w środowisku jednej technologii komunikacyjnej innej, wykorzystującej zasoby tej pierwszej. Rozwiązanie takie jest znane i opisywane w literaturze [22], [23], [24]. Przykładem osadzania technologii jest szeroko stosowane alokowanie sieci Ethernet na zasobach sieci MPLS, funkcjonującej w środowisku sieci fizycznej WDM. Również w tym przypadku, na bazie osadzania, tworzona jest hierarchia technologii, której warstwy wiążą się z konkretnym poziomem komunikacji, nie zaś z określonym jej typem. Przykład hierarchii technologii zaprezentowano na rys. 2. Na pierwszym z nich (rys. 2a.), przedstawiono strukturę wykorzystywaną w sieciach telekomunikacyjnych, na drugim zaś (rys. 2b.) w sieciach danych.



Rys. 2. Przykłady hierarchii technologii

Wszystkie omawiane komponenty sieci hierarchicznych, tj. wielokanałowość, osadzanie i hierarchie są funkcjonalnie powiązane, co pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Powiązanie komponentów hierarchii

Zgodnie z przedstawioną powyżej klasyfikacją, podstawowym elementem tworzącym dowolną hierarchię jest kanał komunikacyjny, rozumiany jako środowisko transmisji informacji na poziomie fizycznym. To właśnie na jego bazie, z wykorzystaniem hierarchii komponentów, tworzone są podstawowe z punktu widzenia transmisji ścieżki komunikacyjne. Te z kolei, stanowią bazę hierarchicznie powiązanych pomiędzy sobą sieci połączeniowych, które wykorzystywane są jako środowisko funkcjonowania technologii komunikacyjnych. Podsumowując, globalna struktura hierarchiczna budowana jest przez osadzenie hierarchii komponentów w hierarchii sieci, a uzyskany w ten sposób rezultat, w hierarchii technologii komunikacyjnych.

Synteza i analiza systemów opisanych jako wielopoziomowe struktury hierarchiczne jest jednym ze znanych kierunków badania systemów o dużym rozmiarze [11], [13], [16]. Dla wszystkich rozważanych powyżej hierarchii (komponentów, sieci, technologii), zaleca się formalne określenie liczby poziomów, dobór elementów poszczególnych warstw oraz sposobów ich powiązania, tak aby powstałą strukturę charakteryzowały minimalne koszty budowy i eksploatacji oraz maksymalna efektywność funkcjonowania. Dotąd, bazując na zwartym opisie, definiowano zbiór dopuszczalnych struktur i kryteriów ich oceny. Rezultatem takich działań były najczęściej zalecenia dotyczące wyboru tej lub innej hierarchii, przeznaczonych do konkretnych zastosowań. Co prawda, metoda taka pozwala rozwiązać zadanie wyboru hierarchii, ale uzyskiwany wynik ogranicza się do wskazania obszaru konkretnego zwartego opisu. Ponadto, zadanie syntezy hierarchii wykonywane jest wyłącznie na poziomie jakościowym, a modele ilościowe, bądź nie są w ogóle rozpatrywane, bądź noszą wyłącznie szczególny charakter [25], [26]. Do formalnego rozwiązania powyższego zadania zaproponowano użycie metod budowy optymalnej hierarchii, wykorzystywanych dotąd głównie w zarządzaniu, sterowaniu i bioinformatyce [27], [28], [29].

2. Rozległy system teleinformatyczny jako hierarchia

Hierarchiczność RST wpisuje je w główny kierunek rozwoju systemów informatycznych [30], [31], [32], [33], [34]. Większość autorów, jako przyczyny szerokiego wykorzystania systemów hierarchicznych wskazuje [12], [31], [35], [36]:

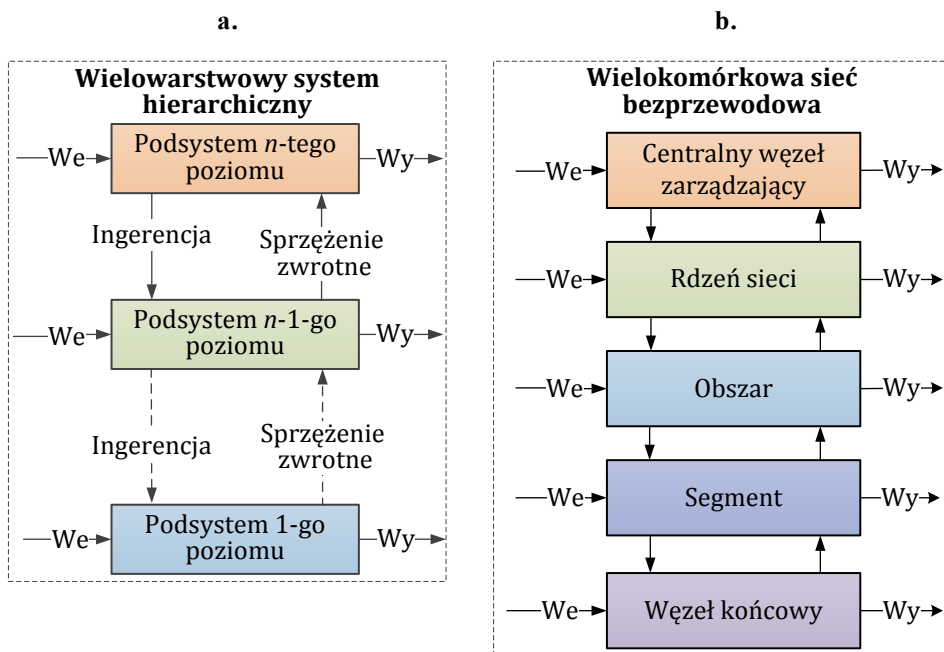
1. Analiza i synteza systemów wielkorozmiarowych jest znacznie łatwiejsza, jeżeli zostaną one podzielone na prostsze podsystemy o mniejszej złożoności, będące, na przykład, warstwami hierarchii;
2. Wydzielenie zbioru podsystemów, których zakres funkcjonalny jest ograniczony, pozwala na ich daleko idącą specjalizację. Podsystem nie musi już znać celów funkcjonowania całego systemu;
3. Dzięki modułowości, hierarchizacja może (aczkolwiek nie musi) poprawić odporność systemu na uszkodzenia, polepszyć ich wykrywanie i usuwanie. Zauważmy, że w przypadku uszkodzenia wymienia się tylko część systemu, dysponującą ściśle zdefiniowanymi połączeniami;
4. Hierarchiczność upraszcza eksploatację, w szczególności zarządzanie całym systemem.

Chociaż teoria systemów hierarchicznych została zdefiniowana z początkiem lat siedemdziesiątych [36], w chwili obecnej nie istnieje żadna, ogólnie przyjęta ich definicja. Najczęściej, systemy te opisuje się poprzez wyszczególnienie ich typowych cech, którymi są [12]:

1. *Pionowa dekompozycja*. Polega na sekwencyjnym rozmieszczeniu podsystemów funkcjonalnych, z zachowaniem ich podległości pionowej. Wspomniana zależność dotyczy wyłącznie przetwarzania informacji wejściowej *We* w wyjściową *Wy*. Z punktu widzenia innych celów współdziałania, dopuszczalne są również dodatkowe formy powiązania elementów;
2. *Priorytet działań*. Oznacza bezpośredni i jawny wpływ poziomów wyższych na funkcjonowanie niższych warstw hierarchii. Wspomniana zależność ma charakter obligatoryjny, innymi słowy, w systemach hierarchicznych ma miejsce nadrzędność wyższych poziomów nad niższymi. W systemach z deterministycznym algorytmem funkcjonowania, ingerencja wiąże się ze zmianą wybranego parametru niższego poziomu. Z kolei, w systemach niedeterministycznych przestrzegana jest sekwencyjna kolejność działań na poszczególnych poziomach hierarchii. Najczęściej, zadanie podlegające rozwiązaniu w niższej warstwie, nie jest całkowicie zdefiniowane dopóty, dopóki nie zostanie ono określone na poziomach wyższych. Opisany powyżej wzajemny wpływ nazywany jest ingerencją;
3. *Wzajemne relacje funkcjonalne*. Chociaż ingerencja w działanie dowolnego z poziomów odbywa się schodząco (tj. z góry do dołu), poprawne funkcjonowanie całości zależy od rezultatów działania wszystkich warstw systemu. Oznacza to, że efekt pracy wyższego poziomu to skutek nie tylko rezultatów funkcjonowania jego samego, ale również wyników (sumarycz-

nych) rezultatów wszystkich niższych warstw. W przypadku RST, należy dodatkowo przyjąć, że na pracę całego systemu wpływa także sprzężenie zwrotne przenoszące informacje z jego niższych poziomów na wyższe.

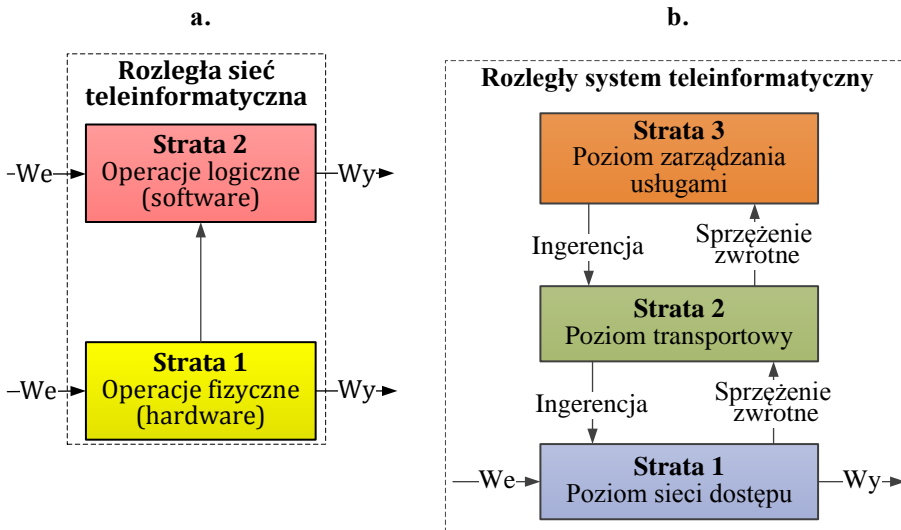
Uogólnioną architekturę systemów hierarchicznych przedstawiono na rys. 4a, a uszczegółowienie, uwzględniające cechy charakterystyczne RST na rys. 4b. Hierarchia składa się z pięciu poziomów, z których najniższy grupuje węzły końcowe, najwyższy zaś zawiera centralny węzeł zarządzający. Elementami poszczególnych poziomów hierarchii są: węzły końcowe, segmenty, obszary, rdzeń sieci oraz węzeł centralny. Węzeł końcowy to miejsce lokalizacji użytkownika bądź ich grupy. O grupie, mówić będziemy jeżeli tworzące ją jednostki, pomiędzy sobą, połączone są za pomocą innych środków komunikacji niż te wykorzystywane w segmencie. Obszar to grupa segmentów obsługiwanych przez jeden wspólny przełącznik. Rdzeń sieci obejmuje wszystkie połączone przełączniki zintegrowane za pomocą centralnego węzła zarządzającego.



Rys. 4. Architektury systemów hierarchicznych

Zgodnie z teorią systemów hierarchicznych [16], [27], [37], każdy z poziomów może mieć postać straty, warstwy lub eszelonu. Rozróżnienie trzech różnych organizacji warstw wynika z poszukiwania kompromisu pomiędzy prostotą opisu, a złożonością wzajemnych powiązań. Systemy spotykane w praktyce są najczęściej skomplikowaną kombinacją powyższych typów podstawowych, a sposób przedstawienia hierarchii systemu zależy od jego architektury.

Strata jest poziomem, dysponującym własnym opisem funkcjonowania, dzięki czemu badając fragment systemu możemy ograniczyć się do analizy interesującej nas warstwy. Model, którego poziomy mają postać strat nazywany jest modelem stratyfikowanym, a sam system – systemem stratyfikowanym. Charakteryzuje je wysoka niezależność strat, dzięki temu możliwe jest precyzyjne określenie ich właściwości, które są sumą funkcji poszczególnych strat. W pierwszym przybliżeniu, RST uważa się za systemy stratyfikowane. Jednak w rzeczywistych RST, absolutna niezależność strat nie występuje, a opis ich funkcjonowania musi uwzględniać wszystkie wykorzystywane poziomy, jak również powiązania pomiędzy nimi. Dwie stratyfikowane hierarchie odzwierciedlające RST, różniące się poziomem abstrakcji prezentacji, zaprezentowano na rys. 5.



Rys. 5. Hierarchiczne systemy stratyfikowane

Na pierwszym z rysunków widnieje hierarchia złożona z dwóch strat: operacji fizycznych i operacji logicznych. Struktura taka jest charakterystyczna nie tylko dla typowych systemów informatycznych [38], ale również dla wszelkich produktów ewolucji [39]. Dolny poziom (strata 1) z rys. 5a reprezentuje operacje fizyczne wykonywane w oparciu o współdziałanie sprzętowych elementów RST. Z kolei górny (strata 2) opisuje programy i aplikacje wykorzystywane przy funkcjonowaniu RST. Na poziomie tym, zjawiska fizyczne wszechobecne w stracie 1, nie pojawiają się w ogóle. Na rys. 5b zaproponowano stratyfikowany model RST, uwzględniający poszczególne komponenty sieci. W modelu tym, elementy nie są dzielone z pozycji środowiska realizacji usług, a wyłącznie z punktu widzenia ich charakteru.

Rozważmy argumenty przemawiające za wykorzystaniem modeli stratyfikowanych do opisu RST. W szczególności, należy zauważyć, że:

1. Asortyment strat RST zależy głównie od obserwatora, w szczególności od

jego wiedzy i zainteresowania funkcjonowaniem konkretnych komponentów sieci. Pozwala to dostosować model do rzeczywistych potrzeb badacza;

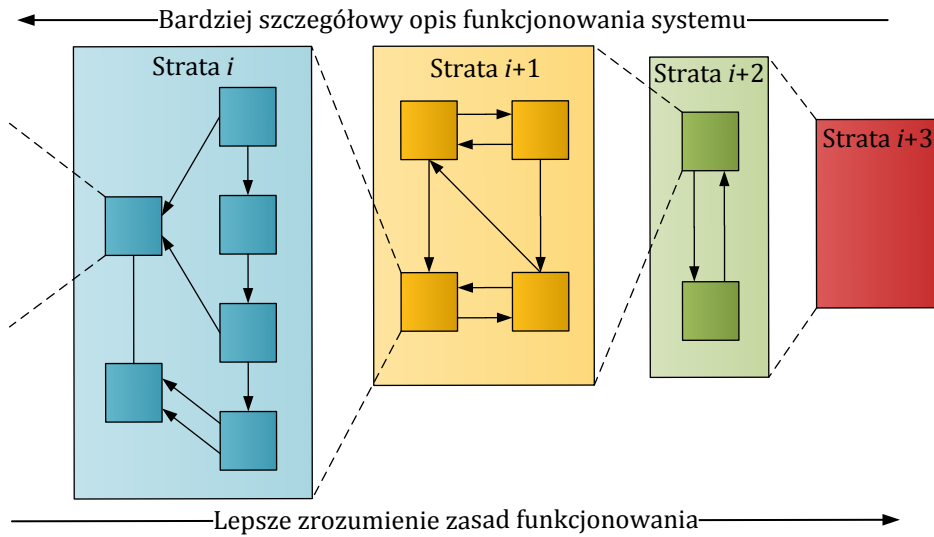
2. W ogólnym przypadku, opisy funkcjonalne różnych strat systemu są ze sobą luźno powiązane. Dzięki temu, reguły i prawa używane do opisu, nie muszą być wydzielone z zasad wykorzystywanych dla innych strat;
3. Zależności funkcjonalne pomiędzy różnymi stratami mają charakter asymetryczny, wymagania stawiane przed stratami wyższego poziomu pojawiają się jednocześnie, jako warunki lub ograniczenia działania strat niższych poziomów;
4. Każda ze strat operuje własnym zbiorem terminów, koncepcji i zasad. Ponadto, charakterystyczne dla niej obiekty są dokładniej analizowane w stratach niższych poziomów. Zgodnie z rys. 6, każda niższa strata detalizuje stratę wyższą;
5. Zasady działania systemu są uszczegółowiane przy sekwencyjnym przechodzeniu od jednej straty do drugiej. W szczególności, przechodząc od straty wyższej do niższej zwiększamy poziom detalizacji opisu. Z kolei, przemieszczając się w przeciwnym kierunku, poprawiamy zrozumienie sensu i znaczenia całego systemu (patrz rys. 6).

Uwzględniając powyższe rozważania, budując RST będziemy dążyć do takiego doboru strat, aby osiągnąć kompromis pomiędzy szczegółowością opisu, a zrozumieniem zasad ich działania.

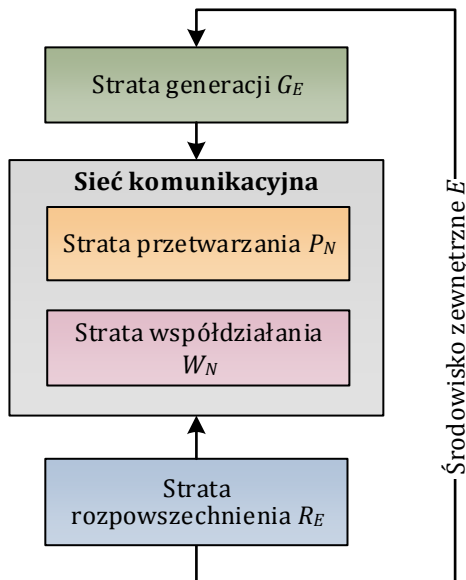
3. Detalizacja hierarchii stratyfikowanej

Dotychczasowe rozważania, wykorzystamy do opracowania stratyfikowanego modelu RST, opisującego współdziałanie pomiędzy otoczeniem zewnętrznym E a komponentami sieci N . Dodatkowo, opracowany model powinien zagwarantować przetwarzanie informacji przez komponenty sieci zgodnie z zasadami obowiązującymi w systemach otwartych, co poprawi uniwersalność jego zastosowań [40]. Model spełniający powyższe wymagania został schematycznie przedstawiony na rys. 7.

Środowisko zewnętrzne oraz jego komponenty zaprezentowano w postaci czterech strat: generacji G_E , rozpowszechnienia R_E , współdziałania W_N oraz przetwarzania P_N . Wydzielenie straty G_E , pozwala uwzględnić wpływ użytkowników końcowych na programowo-sprzętowe zasoby RST, w szczególności odzwierciedla ona generowany strumień żądań.



Rys. 6. Relacje informacyjne w systemie stratyfikowanym



Rys. 7. Model systemu stratyfikowanego.

Strata R_E zapewnia uwzględnienie wpływu zakłóceń zewnętrznych na przesyłane sygnały informacyjne (elektryczne, optyczne i radiowe), a strata W_N pozwala rozpatrywać RST, jako jednolitą całość, współdziałającą ze środowiskiem zewnętrznym na poziomie systemowym. Strata P_N reprezentuje najważniejsze strukturalne elementy sieci, przeznaczone do przesyłania informacji. Dodatkowo,

w stracie tej zawarte są powiązania wyszczególnionych elementów z ich programowo-sprzętowym otoczeniem.

Nie ulega wątpliwości, że na zewnętrzne parametry RST wpływają nie tylko zjawiska zachodzące w komórkach, ale również komunikacja w rdzeniu sieci [38], [33], [34]. Przyjmujemy, że rdzeń RST został zbudowany na bazie przełączników elektrycznych oraz optycznych kanałów komunikacyjnych (założono, że budowa sieci transparentnej jest obecnie zbyt kosztowna). Wykorzystując opisany wcześniej model, stratę W_N traktuje się jako środowisko informacyjno-obliczeniowe złożone z przełączników, przedstawionych w postaci wielowrotników oznaczonych symbolem η_i^n , gdzie: i – numer poziomu lokalizacji wielowrotnika, $l = 1, \dots, I_N, I_N$ – liczba warstw wykorzystywanej hierarchii; n – numer wielowrotnika w ramach danej warstwy. Wielowrotniki wyposażone są w trzy rodzaje wejść i wyjść, które oznaczamy odpowiednio jako: $m_{ki}^n, m_{ii}^n, m_{ji}^n$. Wejścia i wyjścia, oznaczone jako m_{ki}^n wiążą n -ty wielowrotnik i -tej warstwy z k -tym wyższym poziomem. Oznaczenie m_{ii}^n opisuje interfejsy w ramach tej samej, i -tej warstwy hierarchii. Z kolei, symbol m_{ji}^n dotyczy powiązań n -tego wielowrotnika i -tego poziomu hierarchii z j -tą wyższą warstwą. Z uwagi na obustronną komunikację, w każdym z wykorzystywanych wielowrotników, liczba wejść odpowiada liczbie wyjść. Uogólniając, zbiór η_i^n wejść i wyjść wielowrotnika możemy zapisać jako:

$$\eta_i^n = \{m_{1i}^n, m_{2i}^n, \dots, m_{(i-1)i}^n, m_{ii}^n, m_{(i+1)i}^n, \dots, m_{I_i}^n\}, \quad (1)$$

rozdzielając przy tym współdziałanie pomiędzy urządzeniami danego poziomu oraz między sąsiednimi warstwami hierarchii.

Chociaż nie można wykluczyć istnienia wielowrotnika ze schematem połączeń opisanym wyrażeniem (1), w praktyce spotykamy się z sytuacją, kiedy połączenia realizowane są wyłącznie w ramach danego oraz bezpośrednio z sąsiednimi poziomami. Wtedy, zbiór połączeń zapisujemy jako: $\eta_i^n = \{m_{(i-1)i}^n, m_{ii}^n, m_{(i+1)i}^n\}$. Ponieważ ogólność rozważań wymaga zachowania formy zapisu zgodnej z wyrażeniem (1), w miejsce połączeń niewykorzystywanych poziomów, wpisujemy cyfrę zero. W rezultacie, wyrażenie (1) przyjmuje postać:

$$\eta_i^n = \{0, 0, \dots, m_{(i-1)i}^n, m_{ii}^n, m_{(i+1)i}^n, \dots, 0\}. \quad (2)$$

Zgodnie z wcześniejszymi oznaczeniami η_i^n , to zbiór wszystkich wejść i wyjść n -tego węzła i -tego poziomu straty. Tak więc, $\eta_{ki}^n \in \eta_i^n$ jest podzbiorem wejść i wyjść n -tego węzła i -tego poziomu, połączonych z węzłami najbliższej niższej k -tej warstwy, a $\eta_{ji}^n \in \eta_i^n$ jest podzbiorem wejść i wyjść tego węzła, połączonych z węzłami kolejnej, wyższej j -ej warstwy.

Przełączniki tworzące rdzeń sieci mogą zapewniać zmienność jej struktury. Przyjmijmy, że zbiór η_i^n wszystkich wejść i wyjść n -tego węzła i -tego poziomu jest niezmienny. Nie oznacza to jednak, że tworzące go podzbiory połączeń z poprzedzającą go warstwą $\eta_{(i-1)i}^n$, w ramach tego samego poziomu η_i^n oraz podzbiór połączeń z kolejną warstwą $\eta_{(i+1)i}^n$ są niezmiennie. W praktyce, podzbiory te zmie-

nią się zapewniając elastyczność architektury rdzenia sieci. Jeżeli dodatkowo przyjmiemy, że zbiór η_i^n jest sumą wyszczególnionych podzbiorów, tj. $\eta_i^n = \eta_{(i-1)i}^n \cup \eta_{ii}^n \cup \eta_{(i+1)i}^n$ to możemy zaakceptować również zmienność samego zbioru. Zauważmy, że w ogólnym przypadku dla wszystkich I_n warstw systemu, przy założeniu istnienia połączeń innych niż z sąsiednią warstwą, zbiór ich wszystkich określony jest wyrażeniem:

$$\eta_i^n = \bigcup_{k=1}^{i-1} \eta_{ki} \bigcup_{j=i+1}^{I_n} \eta_{ji}.$$

Wykorzystując terminologię systemów hierarchicznych, możemy założyć, że węzły straty I_N są zbiorami systemów hierarchicznych, spełniającymi następujące warunki:

1. Połączenie obiektów jednego i tego samego poziomu, dwóch lub więcej systemów w ramach węzła straty I_N , może być zrealizowane na bazie obiektów sąsiednich poziomów, za wyłączeniem fizycznego;
2. Obiekty systemów hierarchicznych, rozmieszczone w różnych węzłach straty I_N łączą się pomiędzy sobą za pośrednictwem poziomów fizycznych tychże systemów.

Powyższe rozważania mają, przede wszystkim, charakter teoretyczny. Oczywiście, nie oznacza to, że nie można ich wykorzystać do projektowania rzeczywistych systemów, jednak są one adresowane do syntezy samej hierarchii, a nie systemu jako całości. Do rozwiązania realnego zadania poszukiwania optymalnej hierarchii możemy wykorzystać metody programowania całkowitoliczbowego [41], [42], [43]. W tym celu, rozważmy zbiór grafów dopuszczalnych hierarchii $\{G_i = (V_i, E_i)\}$, gdzie: $i = 1, \dots, n$. Załóżmy, że poszukujemy hierarchii opisanej grafem $G^* \in \{G_i\}$, charakteryzującej się maksymalną wartością oceny wybranej właściwości lub ich zestawu. W tym celu, analizować będziemy wektor Ψ cząstkowych wskaźników efektywności grafu $G_{i_1} \in \{G_i\}$ określony jako:

$$\Psi(G_{i_1}) = (\psi_1(G_{i_1}), \dots, \psi_k(G_{i_k}), \dots, \psi_m(G_{i_m})).$$

Wtedy, funkcja celu będzie miała postać:

$$\max_{G^* \in \{G_i\}} \psi_k(G^*), \quad \forall k = 1, \dots, m.$$

Można także poszukiwać hierarchii najbardziej zbliżonej do określonej wcześniej struktury wzorcowej lub ich zbioru. Jako $G_c = (V_c, E_c)$ oznaczmy graf docelowej (wzorcowej) hierarchii, gdzie $G_c \in \{G_i\}$. W celu określenia odległości wybranego grafu od grafu docelowej hierarchii, wprowadzimy funkcję bliskości ρ . Dla dwóch dowolnych grafów G_{i_1} i G_{i_2} należących do zbioru dopuszczalnych hierarchii (tj. $G_{i_1}, G_{i_2} \in \{G_i\}$), funkcja $\rho(G_{i_1}, G_{i_2})$ określa bliskość pomiędzy nimi. Tak więc, funkcja celu przyjmuje postać:

$$\min_{G^* \in \{G_i\}} \rho(G^*, G_c).$$

Wykorzystując zintegrowaną definicję obu zadań, możemy zapisać nową funkcję celu:

$$\min_{G^* \in \{G_i\}} \rho(G^*, G_c), \text{ dla } \psi_k(G^*) \geq r_k, \quad \forall k = 1, \dots, m,$$

gdzie: r_k – ograniczenia wartości ocenianych właściwości.

Powyższe zadania optymalizacyjne odpowiadają złożonym modelom programowania całkowitoliczbowego lub mieszanego całkowitoliczbowego, dla których można wykorzystać różnorodne metody rozwiązania: od prostego przeszukiwania począwszy, na metodach sztucznej inteligencji skończywszy [42], [43], [44].

Zadanie określenia liczby i typów poziomów sieci może być przedstawione również jako zadanie rozmieszczania wielopoziomowego, a do uzyskania przybliżonego wyniku można zastosować metodę bazującą na liniowej relaksacji i rozwiązaniu zadania dualnego z lokalną poprawą wyniku. Jeżeli niezbędne jest dokładne rozwiązanie, można zastosować metodę gałęzi i granic. Kiedy na strukturę projektowanej sieci nakładane są dodatkowe ograniczenia, należy zastosować metody: poszukiwania drzewa rozpinającego z ograniczonym promieniem; budowy optymalnego drzewa Steinera z limitowanymi długościami ścieżek i ograniczoną ilością punktów Steinera oraz poszukiwania prostokątnego drzewa Steinera z ścieżkami jednakowej długości [45], [46], [47]. Niestety, wszystkie powyższe metody należą do grupy algorytmów NP-zupełnych i są mało atrakcyjne dla szybkiego rozwiązania zadania. Jeszcze inną grupą metod, przydatnych do określenia efektywnej hierarchii jest klasteryzacja hierarchiczna, w szczególności wywodzące się z niej: metoda aglomeracyjna [48], [49] oraz metoda hierarchiczna z przecinaniem klastrow [50].

4. Formalny opis struktury systemów hierarchicznych

Rozważmy hierarchię opisaną grafem skierowanym $D = (V, E)$, gdzie $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ – zbiór wierzchołków odpowiadających elementom hierarchii; $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ – zbiór krawędzi skierowanych (strzałek) grafu, a $e_i = (v_k, v_l)$ to strzałka łącząca k -ty i l -ty wierzchołek. Dowolną strukturę będziemy nazywać hierarchiczną, jeżeli jej elementy powiązane są relacją hierarchii, którą opisuje poniższa definicja.

Definicja 1

W grafie skierowanym $D = (V, E)$ dwa wierzchołki $v_k \in V$ oraz $v_l \in V$ powiązane są relacją hierarchii ($v_k \leq v_l$), jeżeli istnieje ścieżka z początkiem w wierzchołku v_k i końcem w wierzchołku v_l o długości $d \geq 0$.

Zauważmy, że ścieżka o długości równej 0 opisuje szczególny przypadek hierarchii, w którym węzły są ze sobą zintegrowane. Ponieważ, hierarchia porządkuje zbiór wierzchołków, rozważmy ją obecnie w terminach algebry relacji.

Definicja 2

Binarną relację R w zbiorze $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ nazywać będziemy relacją porządkującą jeżeli R jest zwrotna, antysymetryczna i przechodnia, co można zapisać:

1. $\forall a(aRa)$ (zwrotność);
2. $\forall a, \forall b(aRb \wedge bRa \Rightarrow a = b)$ (antysymetryczność);
3. $\forall a, \forall b, \forall c(aRb \wedge bRc \Rightarrow aRc)$ (przechodniość).

Przyjmijmy, że wierzchołki zbioru V będą częściowo uporządkowane. Dalej, terminem *obwodu* będziemy określać zamkniętą ścieżkę w grafie, a *pętłą* – strzałkę, której początek znajduje się w tym samym wierzchołku. Zdefiniujemy następujące twierdzenie.

Twierdzenie 1

Binarna relacja hierarchii określona w zbiorze $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ grafu skierowanego D będzie relacją porządku częściowego, wtedy i tylko wtedy, kiedy graf D nie zawiera obwodów.

Dowód: Załóżmy, że relacja hierarchii jest rzeczywiście częściowym porządkiem. Jeżeli zatem, w analizowanym grafie występowałby obwód nie zostanie spełniony warunek antysymetryczności wymagany przez definicję i wspomniana relacja nie jest relacją częściowego porządku. Obecnie rozważmy niezawierający obwodów graf skierowany D , dla którego wierzchołków sprawdzimy wypełnienie warunków z definicji 2. Tak więc:

1. *Zwrotność:* $\forall i v_i \leq v_i$, tj. dla dowolnego wierzchołka istnieje ścieżka do jej samej, posiadająca zerową długość;
2. *Antysymetryczność:* $\forall i, j v_i \leq v_j, v_j \leq v_i \Rightarrow v_i = v_k$, tj. jeżeli istnieją ścieżki łączące v_i z v_j oraz v_j z v_i , to $v_i = v_j$, czyli połączenie tych dwóch ścieżek tworzy obwód;
3. *Przechodniość:* $\forall i, j, k v_i \leq v_j, v_j \leq v_k \Rightarrow v_i \leq v_k$, tj. jeżeli istnieją ścieżki łączące wierzchołek v_i z v_j oraz v_j z v_k , to ich połączeniem jest ścieżka łącząca v_i z v_k .

Uwzględniając powyższe rozważania oraz definicję 2 stwierdzamy, że relacja hierarchii to relacja porządku częściowego. ♠

Relację binarną R , spełniającą wymagania zwrotności, przechodniości i antysymetryczności będziemy nazywać względnym lub zwrotnym porządkiem częściowym, oznaczanym symbolem \leq . Jeżeli warunek zwrotności w definicji hierarchii zamienimy warunkiem antyzwrotności, tj.: $\forall v \neg(vRv)$ to otrzymamy definicję bezwzględnego lub antyzwrotnego porządku częściowego, który oznaczamy jako $<$. Powyższe pojęcia możemy uogólnić na przypadek hierarchii, wyróżniając hierarchie względne i bezwzględne.

Definicja 3

Jeżeli wierzchołki $v_i, v_j \in V$ są połączone ścieżką niezerowej długości to wierzchołki te powiązane są relacją bezwzględnego porządku częściowego, tj. $v_i < v_j$.

Zdefiniujemy i udowodnimy następujące twierdzenie.

Twierdzenie 2

Binarna relacja bezwzględnej hierarchii na zbiorze V wierzchołków grafu skierowanego D jest relacją porządku bezwzględnego wtedy i tylko wtedy, kiedy graf D nie zawiera obwodów i pętli.

Dowód. Jeżeli relacja bezwzględnej hierarchii jest jednocześnie bezwzględnym porządkiem, wtedy istnienie w grafie obwodu lub pętli przeczy jego antyzwrotności. Przykładowo, właściwości antyzwrotności przeczy istnienie obwodu postaci $(v_i < v_j < \dots < v_k < v_l < v_i)$. Następnie, sprawdzamy wypełnienie właściwości porządku bezwzględnego w relacji hierarchii bezwzględnej dla skierowanego grafu niezawierającego obwodów i pętli. Zauważmy, że:

1. *Antyzwrotność:* dla żadnego i nie ma miejsca relacja $v_i < v_i$. Oznacza to, że nie istnieje ścieżka długości różnej od zera, łącząca wierzchołek z nim samym;
2. *Przechodność:* jeżeli dla dowolnego i, j, k istnieją ścieżki o niezerowej długości, łączące wierzchołek v_i z v_j oraz v_j z v_k , to ich połączenie będzie ścieżką o niezerowej długości pomiędzy wierzchołkami v_i oraz v_k .

W ten sposób, relacja hierarchii bezwzględnej jest jednocześnie relacją porządku bezwzględnego.♠

Wykorzystując dotychczasowe rozważania zdefiniujemy i udowodnimy poniższe twierdzenie

Twierdzenie 3

Dowolna struktura hierarchiczna może być przedstawiona w postaci skierowanego grafu acyklicznego.

Dowód. Niech $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ oznacza zbiór elementów. Każdy element $a \in A$ posiada typ $\tau(a)$. Liczba typów elementów jest skończona $\tau_1, \dots, \tau_m, m \leq n$ i typy te są uporządkowane relacją porządku częściowego, oznaczoną symbolem \leq , tzn. $\tau_1 \leq \dots \leq \tau_m$. Typy elementów pozwalają wprowadzić relację równoważności R na zbiorze A ($R \subseteq A^2$): $aRa \Leftrightarrow \tau(a) = \tau(b), a, b \in A$. Z kolei relacja porządku częściowego na typach pozwala uporządkować zbiór ilorazowy:

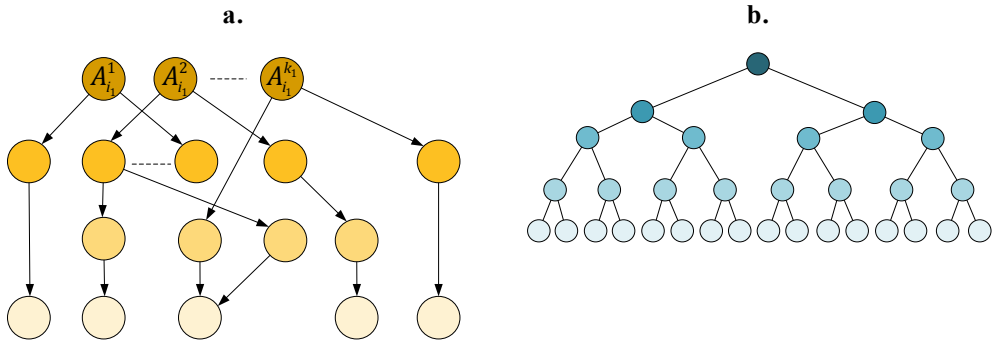
$$A/R = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}: A_i < A_j \Leftrightarrow \forall a \in A_i, b \in A_j, \tau(a) < \tau(b).$$

Założmy, że jeżeli $\tau(a) < \tau(b)$, wtedy element a podlega w hierarchii elementowi b . W celu zapewnienia możliwości wielokrotnego osadzenia obiektu niższego poziomu na zasobach poziomu wyższego, wprowadzimy opartą na relacji podlegania funkcję gęstości $f: A \rightarrow N$, gdzie $f(a) = k$ oznacza, że elementowi a pod-

lega k elementów niższych typów. Funkcja gęstości określa relację równoważności R na zbiorze A : $a\tilde{R}b \Leftrightarrow a\tilde{R}b \vee f(a) = f(b)$, $a, b \in A$. W rezultacie, otrzymujemy zbiór ilorazowy posiadający następującą postać:

$$A/\tilde{R} = \{A_{i_1}^1, \dots, A_{i_{k_1}}^{k_1}, A_{i_2}^1, \dots, A_{i_{k_2}}^{k_2}, \dots, A_{i_m}^1, \dots, A_{i_m}^{k_m}\},$$

gdzie: $A_{ij} = \cup_{l=1}^{k_j} A_{ij}^l$, $j = 1, \dots, m$, $k_j = k_1, \dots, k_m$. W ten sposób, uzyskujemy graf acykliczny reprezentujący zbiory A oraz A/\tilde{R} , co zaprezentowano na rys. 8a.



Rys. 8. Grafy acykliczne.

W przypadku, kiedy typy są liniowo uporządkowane, powyższe zależności są identyczne i zbiór ilorazowy będzie dokładnie taki sam jak wyżej. W tym względzie, czynnikiem decydującym jest funkcja gęstości f . Jeżeli f jest jednorodna, tj. $\forall a \in A, f(a) = const$ to funkcję f definiujemy na zbiorze $A' \in A$, gdzie: A' zawiera elementy ze zbioru A , posiadające typy uporządkowane relacją: $\tau_2 < \tau_3 < \dots < \tau_m$. Funkcja gęstości dla elementów najniższego typu jest równa 0. Wynika stąd, że struktura zbioru ilorazowego posiada postać drzewa, co pokazano na rys. 8b. Tak więc, dowolna struktura hierarchiczna może zostać przedstawiona w postaci skierowanego grafu acyklicznego.♣

W procesie syntezy i analizy RST wykorzystywać będziemy głównie bezwzględne hierarchiczne grafy skierowane. Wśród węzłów hierarchii wyróżnia się przodków oraz potomków, węzły te są następnie grupowane w warstwach. Rozważmy bezwzględną hierarchię, w której $v_i < v_j$. W takim przypadku, wierzchołek v_i będziemy nazywać przodkiem wierzchołka v_j , a wierzchołek v_j potomkiem v_i . Pojęcie warstwy określa poniższa definicja.

Definicja 4

Warstwą L nazywać będziemy strukturę spełniającą poniższe warunki:

1. Żaden z elementów danej warstwy nie posiada przodków w warstwie kolejnej;
2. Elementy pierwszej warstwy nie posiadają przodków, zaś ostatnie potomków;
3. Strzałki nigdy nie łączą wierzchołków tej samej warstwy.

Jeżeli z asortymentu strzałek opisujących hierarchię grafu skierowanego wyłączyć pętle to powyższa definicja może być również wykorzystywana do określania warstw hierarchii tej klasy. Zauważmy, że istnienie pętli powoduje, że wierzchołek może być jednocześnie swoim przodkiem i potomkiem, co dla hierarchii bezwzględnych jest niedopuszczalne. Zgodnie z definicją 4, wszystkie wierzchołki nieposiadające strzałek wejściowych wchodzą w skład pierwszej warstwy L_1 .

Do podziału wierzchołków hierarchii pomiędzy warstwami można wykorzystać pojęcie odległości pomiędzy dwoma wierzchołkami oraz wierzchołkiem i ich zbiorem. W najprostszym przypadku, odległością $d_{i,j}$ między wierzchołkami i oraz j grafu skierowanego D jest długość najkrótszej ścieżki łączącej oba wierzchołki. W podobny sposób możemy określić odległość danego wierzchołka od ich zbioru. Tak więc, odległością $d_{i,M}$ pomiędzy wierzchołkiem i a zbiorem $M \subset V$ nazywać będziemy minimalną odległość $d_{i,j}$ pomiędzy wierzchołkami i oraz j dla $j \in M$. Jeżeli wierzchołki hierarchii mogą być przypisane wyłącznie do jednej warstwy to ich podział pomiędzy nimi jest oczywisty. Jeżeli jednak wierzchołek może zostać rozmieszczony w różnych warstwach, w trakcie ich tworzenia należy dla niego wybrać tę, której odległość od warstwy L_1 jest minimalna.

Uwzględniając powyższe rozważania zdefiniujemy podział na warstwy grafu skierowanego bezwzględnej hierarchii. Rozważmy graf D złożony z x warstw, którego i -ta warstwa składa się z y_i wierzchołków. Zbiór wierzchołków dowolnej i -tej warstwy oznaczymy jako V_{L_i} . Zbiór V wierzchołków grafu D możemy zapisać jako: $V = V_{L_1} \cup V_{L_2} \cup \dots \cup V_{L_x}$, przy czym, dla każdego $k, l = 1, \dots, x$, $V_{L_l} \cap V_{L_k} = \emptyset$. Suma wierzchołków grafu hierarchii jest równa sumie liczby wierzchołków rozmieszczonych na poszczególnych warstwach, tj.:

$$|V| = |V_{L_1}| + |V_{L_2}| + \dots + |V_{L_x}| = y_1 + y_2 + \dots + y_x = y.$$

Topologie RST sklasyfikujemy z punktu widzenia teorii systemów hierarchicznych. Z uwagi na uwarunkowania topologiczne rzeczywistych systemów, rozważać będziemy wyłącznie systemy bezwzględnie hierarchiczne. Wprowadźmy kilka definicji podstawowych systemów tej klasy.

Definicja 5

Bezwzględnie hierarchiczny graf skierowany będziemy nazywać jednobiegunowym lewym, jeżeli $y_1 = 1$. Jeżeli $y_x = 1$ nazywany jest on jednobiegunowym prawym, zaś dla $y_1 = y_x = 1$ dwubiegunowym.

Ponieważ w RST, na poziomie L_1 zlokalizowany jest wyłącznie centralny węzeł zarządzający, dalsze rozważania ograniczymy do grafów skierowanych bezwzględnych hierarchii jednobiegunowych lewych.

Definicja 6

Drzewiastym, nazywać będziemy lewy jednobiegunowy graf skierowany, w którym $y_1 \leq y_2 \leq \dots \leq y_x$. Jeżeli $y_1 < y_2 < \dots < y_x$ mówimy o grafie bezwzględnie drzewiastym.

W analizowanych RST połączenia komunikacyjne realizowane są wyłącznie pomiędzy sąsiednimi warstwami. Taką architekturę połączeń nazywamy sekwencyjną, a opisuje ją poniższa definicja.

Definicja 7

Bezwzględnie hierarchiczny graf skierowany nazywamy sekwencyjnym jeżeli strzałki łączą wyłącznie sąsiednie warstwy.

W teorii systemów hierarchicznych spotykamy grafy jednoznaczne i niejednoznaczne.

Definicja 8

Jeżeli każdy wierzchołek bezwzględnie hierarchicznego grafu skierowanego posiada nie więcej niż jedną strzałkę wejściową to graf taki nazywamy lewym jednoznaczny. W przeciwnym przypadku graf jest lewym niejednoznaczny.

Sformułujemy i udowodnimy twierdzenie, dzięki któremu w procesie projektowania hierarchii będzie można wykorzystywać narzędzia stosowane dla grafów drzewiastych.

Twierdzenie 4

Lewy jednoznaczny graf skierowany będzie jednocześnie grafem sekwencyjnym lewym drzewiastym.

Dowód. Rozważmy dowolny wierzchołek l lewego jednoznacznego grafu skierowanego należący do i -tej warstwy, tj. $l \in L_i$. Zgodnie z definicją, dla wskazanego wierzchołka istnieje jedna i tylko jedna strzałka wejściowa, którą oznaczymy jako (k, l) . Przyjmijmy, że początek k strzałki należy do warstwy L_p , warstwy L_p oraz L_i nie sąsiadują ze sobą i $p < i$. Oznacza to, że jeżeli pomiędzy obiema warstwami istnieje warstwa pośrednia, którą oznaczymy jako L_q i $p < q < i$, to wierzchołek l powinien należeć właśnie do tej warstwy. Ma miejsce zależność $p = i - 1$ i analizowany bezwzględnie hierarchiczny graf skierowany jest sekwencyjny.

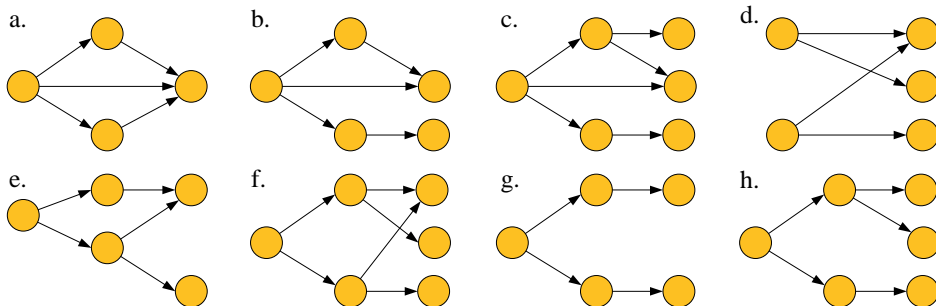
Obecnie udowodnimy, że lewy jednoznaczny graf skierowany jest jednocześnie lewym grafem jednobiegunowym. Na początek przyjmijmy, że liczba wierzchołków należących do pierwszej warstwy jest większa niż jeden. W takim przypadku, z uwagi na sekwencyjność bezwzględnie hierarchicznego grafu skierowanego może mieć miejsce jeden z wariantów:

1. Na poziomie L_2 istnieje wierzchołek posiadający więcej niż jeden wierzchołek wejściowy z poziomu L_1 ;

2. Ma miejsce rozbitcie poziomów L_2 oraz L_1 na podpoziomy postaci: $L_1 = L_{11} \cup L_{12}$, $L_2 = L_{21} \cup L_{22}$, przy czym: $L_{11} \cap L_{12} = \emptyset$, $L_{21} \cap L_{22} = \emptyset$. Z uwagi na powyższy podział, strzałki łączą wyłącznie wierzchołki podwarstwy L_{11} z wierzchołkami podwarstwy L_{21} , a L_{12} z L_{22} . W ten sposób, bez względu na ilość warstw naruszana jest spójność grafu.

Na koniec rozważmy przypadek bezwzględnie hierarchicznego lewego jednobiegunowego jednoznacznego grafu skierowanego. Ponieważ analizowany graf jest sekwencyjny to w celu udowodnienia jego drzewiastości wystarczy porównać moce zbiorów wierzchołków poszczególnych warstw. Jeżeli liczba wierzchołków warstwy wyższej jest mniejsza od niższej, to w pewnej warstwie możemy znaleźć wierzchołek posiadający więcej niż jeden wierzchołek wejściowy w bezpośrednio niższej warstwie. W rezultacie, analizowany graf jest lewym drzewiastym.♣

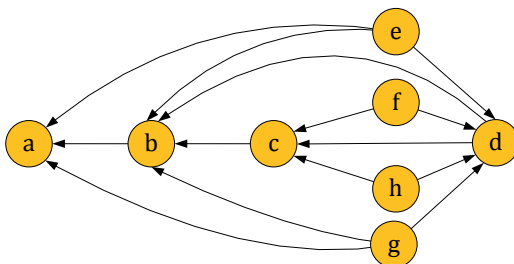
Przykłady różnych typów bezwzględnie hierarchicznych grafów skierowanych przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Przykłady grafów skierowanych bezwzględnie hierarchicznych

Przedstawiono odpowiednio następujące hierarchiczne grafy skierowane: a. lewy jednobiegunowy; b. lewy drzewiasty; c. lewy bezwzględnie drzewiasty; d. sekwencyjny; e. sekwencyjny drzewiasty lewy; f. sekwencyjny lewy bezwzględnie drzewiasty; g. sekwencyjny jednoznaczny lewy; h. jednoznaczny lewy bezwzględnie drzewiasty sekwencyjny.

Na rys. 10 pokazano wzajemne relacje pomiędzy poszczególnymi typami bezwzględnie hierarchicznych grafów skierowanych.



Rys. 10. Relacje pomiędzy różnymi typami grafów

Bibliografia

- [1] R. L. Freeman, *Fundamentals of Telecommunications*, II red., Hoboken: John Wiley & Sons, 2005.
- [2] A. E. Kamal i R. Ul-Mustafa, „Multicast traffic grooming in WDM networks,” w *Proceedings of Opticomm 2003*, 2003.
- [3] B. Chen i R. Dutta, „On hierarchical traffic grooming in WDM networks,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, tom 16, nr 5, pp. 1226-1238, 2008.
- [4] B. Mukherjee, „Wavelength Conversion in WDM Networking,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, tom 16, nr 7, pp. 1061-1073, 1998.
- [5] L. Sahasrabudde i B. Mukherjee, „Survivable WDM mesh networks,” *Journal of Lightwave Technology*, tom 21, nr 4, pp. 870-873, 2003.
- [6] J. Harris, J. L. Hirst i M. Mossinghoff, *Combinatorics and Graph Theory*, 2 red., New York: Springer, 2008.
- [7] D. B. West, *Introduction to Graph Theory*, 2 red., New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [8] M. van Steen, *Graph Theory and Complex Networks: An Introduction*, Maarten van Steen, 2010.
- [9] G. Chartrand i P. Zhang, *A First Course in Graph Theory*, Boston: Dover Publications, 2012.
- [10] R. Diestel, *Graph Theory*, 4 red., New York: Springer, 2010.
- [11] M. V. Gubko, *Mathematical models of optimization of hierarchical structures*, LENAND, 2006.
- [12] N. J. Smith i A. P. Sage, *An introduction to hierarchical systems theory*, Dallas: Information and Control Sciences Center, SMU Institute of Technology, 2005.
- [13] T. L. Saaty, „The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making,” w *Multiple Criteria Decision Analysis*, Springer, pp. 345-407.
- [14] R. Dutta, A. E. Kamal i G. N. Rouskas, *Traffic Grooming for Optical Networks: Foundations, Techniques and Frontiers*, New York: Springer, 2010.
- [15] R. Dutta i G. N. Rouskas, „On Optimal Traffic Grooming in WDM Rings,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, tom 20, nr 1, pp. 110-121, 2002.
- [16] T. L. Saaty, *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [17] A. Barak i E. Schenfeld, „Embedding classical communication topologies in the scalable OPAM architecture,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, tom 7, nr 9, pp. 979-992, 1996.
- [18] N. Bagherzadeh, M. Dowd i N. Nassif, „Embedding an arbitrary binary tree into the star graph,” *IEEE Transactions on Computers*, tom 45, nr 4, pp. 475-481, 1996.
- [19] T.-J. Lin i S.-Y. Hsieh, „Embedding Cycles and Paths in Product Networks and Their Applications to Multiprocessor Systems,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, tom 23, nr 6, pp. 1081-1089, 2012.
- [20] R. A. Rowley i B. Bose, „Fault-tolerant ring embedding in de Bruijn networks,” *IEEE*

- Transactions on Computers*, tom 42, nr 12, pp. 1480-1486, 1993.
- [21] M. Livingston i Q. F. Stout, „Embeddings in Hypercubes,” *Mathematical and Computational Modelling*, nr 11, pp. 222-227, 1988.
- [22] G. Gravenstreter i R. G. Melhem, „Embedding rings and meshes in partitioned optical passive stars networks,” w *Massively Parallel Processing Using Optical Interconnections*, San Antonio, 1995.
- [23] Y. Bulent, „Virtual embeddings on regular topology networks,” w *Eighth IEEE Symposium on Parallel and Distributed Processing*, New Orleans, 1996.
- [24] H. Fang i W. Xuechun, „Research on embedded network scheme based on quantum key distribution,” w *Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference*, Taipei, 2011.
- [25] B.-J. Chang i R.-H. Hwang, „Performance analysis for hierarchical multirate loss networks,” *IEEE Journals & Magazines*, pp. 187 - 199, 2004.
- [26] S. Y. Chang i H.-C. Wu, „Joint Optimization of Complexity and Overhead for the Routing in Hierarchical Networks,” *IEEE Journals & Magazines*, nr 22, pp. 1034 - 1041, 2011.
- [27] B. Mirkin, R. Andrey i F. S. Roberts, *Mathematical Hierarchies and Biology*, Amer Mathematical Society, 1997.
- [28] V. Kulish, *Hierarchical Methods: Undulative Electrodynamical Systems*, New York: Springer, 2002.
- [29] M. D. Ilic i S. Liu, *Hierarchical Power Systems Control: Its Value in a Changing Industry*, New York: Springer, 1996.
- [30] D. Raychaudhuri i M. Gerla, *Emerging Wireless Technologies and the Future Mobile Internet*, Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [31] A. S. Tannenbaum, *Strukturalna organizacja systemów komputerowych*, V red., Gliwice: Helion, 2006, p. 863.
- [32] J. L. Hennessy i D. A. Patterson, *Computer Architecture a Quantitative Approach*, I red., San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002, p. 1143.
- [33] E. Perahia i R. Stacey, *Next Generation Wireless LANs: Throughput, Robustness, and Reliability in 802.11n*, Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- [34] E. May, *Wireless Communications & Networks*, 2 red., New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [35] M. Hajder, P. Dymora i M. Mazurek, „Projektowanie topologii transparentnych sieci optycznych,” w *Konferencja Polski Internet Optyczny: technologie, usługi i aplikacje*, Poznań, 2002.
- [36] M. D. Mesarovic, D. Macko i Y. Takahara, *Theory of hierarchical, multilevel systems*, New York: Academic Press, 1970.
- [37] S. Dandamudi, *Hierarchical Scheduling in Parallel and Cluster Systems*, New York: Springer, 2003.
- [38] C. Smith i C. Gervelis, *Wireless Network Performance Handbook*, New York: McGraw-Hill Professional, 2009.
- [39] H. Nederbragt, „Hierarchical Organization of Biological Systems and the Structure of

- Adaptation in Evolution and Tumorigenesis," *Journal of Theoretical Biology*, tom 184, nr 2, pp. 149-156, 1 1997.
- [40] R. L. Freeman, *Radio System Design for Telecommunication*, III red., Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.
- [41] I. N. Bronsztejn, K. A. Siemiendiajew, G. Musiol i H. Muhlig, *Nowoczesne kompendium matematyki*, Warszawa: Wydawnictwa Naukowe PWN, 2004.
- [42] A. Schrijver, *Theory of Linear and Integer Programming*, Chichester: John Wiley & Sons, 1998.
- [43] T. A. Hamdy, *Operations Research: An Introduction*, New Jersey: Prentice Hall, 2005.
- [44] S. M. Sinha, *Mathematical Programming: Theory and Methods*, Delhi: Elsevier Science, 2006.
- [45] G. Mao i B. Fidan, *Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks*, Hershey: Information Science Publishing, 2009.
- [46] J. L. Gross i J. Yellen, *Handbook of graph theory*, London: CRC Press, 2004.
- [47] P. Santi, *Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks*, Chichester: John Wiley & Sons, 2005.
- [48] A. K. Jain, N. Murty i P. J. Flynn, „Data Clustering: A Review,” *ACM Computing Surveys*, tom 31, nr 3, pp. 264-323, 1999.
- [49] N. Jardine, *Mathematical Taxonomy*, London: John Wiley & Sons, 1971.
- [50] M. S. Levin, „Towards hierarchical clustering,” w *Computer Science - Theory and Applications: Second International Symposium on Computer Science in Russia*, 2007.
- [51] P. Willett i P. Griffiths, „Hierarchic agglomerative clustering methods for automatic document classification,” *Journal of Documentation*, tom 40, pp. 175-205, 1984.
- [52] F. Murtagh, „Parallel algorithms for hierarchical clustering and cluster validity,” *IEEE Journals & Magazines*, tom 14, nr 10, pp. 1056-1057, 1992.

ROZDZIAŁ 19

Minimalizacja złożoności pamięciowej grafowych modeli obiektów technicznych

Mirosław HAJDER, Janusz KOLBUSZ

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie

Miroslaw.Hajder@gmail.com, JKolbusz@wsiz.rzeszow.pl

Streszczenie

W rozdziale przedstawiono oryginalną metodę efektywnego zapisu struktury grafowego modelu złożonego obiektu technicznego. Metoda polega na osadzeniu dowolnego grafu w sieci de Bruijna i wykorzystuje właściwości grafów przecięć kodowych. Metoda znacznie ogranicza złożoność pamięciową zadań modelowania, bez zauważalnego pogorszenia ich złożoności czasowej. Rozdział jest przeznaczony dla osób zajmujących się projektowaniem złożonych obiektów technicznych, w szczególności sieci teleinformatycznych.

1. Wstęp

Oprócz szeregu zalet wykorzystania teorii grafów do modelowania obiektów technicznych, rozwiązanie to posiada również istotne wady. Jedną z najważniejszych jest znacząca złożoność pamięciowa wykorzystywanych metod analizy grafu-modelu. Bez względu na rodzaj opisywanego obiektu technicznego, grafy-modele charakteryzuje niski stopień wierzchołków, przez co efektywność ich macierzowej reprezentacji jest niewysoka. Wykorzystywane modele grafowe zalicza się do grupy grafów rzadkich, w których liczba l_e krawędzi spełnia zależność $l_e \ll n(n-1)/2$. Zastosowanie zapisu macierzowego do ich reprezentacji, wskazane jest ze względu na wymagania komputerowych metod modelowania – właśnie dla tego typu zapisu modelu, efektywność ich działania jest najwyższa [1], [2].

W danym rozdziale zaproponowano metodę informacyjno-graficznego przedstawienia dowolnych obiektów technicznych, pozwalającą efektywnie rozwiązywać zadania analizy i syntezy obiektów, szczególnie w przypadku wielostrumieniowego przebiegu zachodzących procesów.

Badania w ramach projektu: „Neuronowe i immunologiczne wspomaganie analizy i syntezy modeli obiektów technicznych na bazie struktur wykorzystujących grafy rzadkie w warunkach niekompletności informacji”.

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu Państwa w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007 – 2013. Inwestujemy w rozwój województwa podkarpackiego.

Metoda opiera się na wykorzystaniu właściwości grafów przecięć kodowych, pozwalających kodować węzły grafu-modelu. W rezultacie, tworzona jest jednolita przestrzeń informacyjna (kodowa), w której obszarze możliwe jest zastosowanie wirtualnych procedur analizy i syntezy.

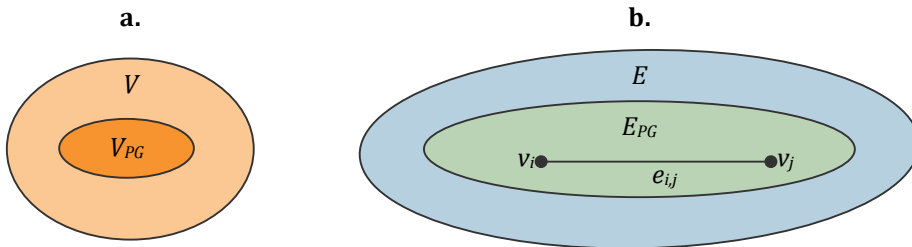
2. Podstawowe definicje

Rozważać będziemy skierowane skończone grafy $G = (V, E)$, gdzie: V – zbiór wierzchołków grafu, $|V| = n$; E – zbiór jego łuków, $|E| = m$. Łuk grafu łączący wierzchołki v_i oraz v_j ($v_i, v_j \in V$) będziemy oznaczać $e_{i,j}$ ($e_{i,j} \in E$) lub alternatywnie, wykorzystując numery wierzchołków (v_i, v_j). Najważniejszymi pojęciami wykorzystywanymi w dalszej części rozdziału są: podgraf, podgraf indukowany oraz nadgraf, których definicje prezentujemy poniżej. W określonych przypadkach wykorzystywać będziemy również grafy nieskierowane [3], [4], [5], [6], [7].

Definicja 1

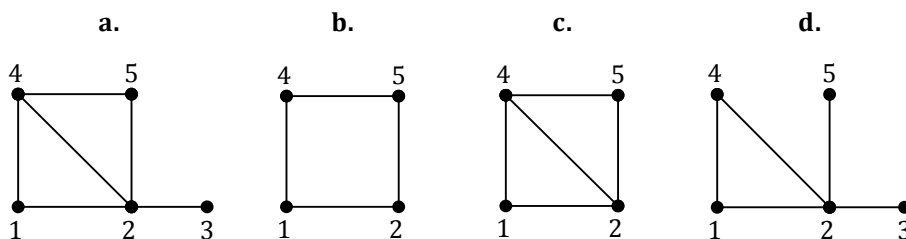
Podgrafem grafu $G = (V, E)$ będziemy nazywać graf $G_{PG} = (V_{PG}, E_{PG})$, dla którego zbiorem wierzchołków V_{PG} jest podzbiór wierzchołków V grafu G , tj: $V_{PG} \subseteq V$, a zbiór krawędzi (łuków) jest podzbiorem zbioru E jego krawędzi (łuków), tj. $E_{PG} \subseteq E$. Przy tym, jeżeli $(v_i, v_j) \in E$ oraz $v_i, v_j \in V_{PG}$ to obowiązkowo $(v_i, v_j) \in E_{PG}$.

Powyższe określenie nazywane jest *silną* definicją podgrafu i z punktu widzenia relacji pomiędzy zbiorami wierzchołków oraz krawędzi G i G_{PG} zostało przedstawione graficznie na rys. 1.



Rys. 1. Graf i jego podgrafy: a. Graf $G = (V, E)$; b. Podgraf $G_{PG} = (V_{PG}, E_{PG})$ grafu G .

Rozważmy nieskierowany graf G_{IG} , indukowany zbiorem wierzchołków [4]. Niech V_{IG} ($V_{IG} \subset V$) oznacza wierzchołkowy zbiór indukujący, równy zbiorowi wierzchołków grafu indukowanego G_{IG} . Jego zbiór E_{IG} krawędzi pokrywa się ze zbiorom E wszystkich krawędzi grafu G , których końce należą do zbioru V_{IG} . Wtedy graf G_{IG} nazywa się grafem indukowanym zbiorem wierzchołków V_{IG} . W przykładzie z rys. 2, grafy z rysunków b. i c. są podgrafami indukowanymi grafu z rysunku a.



Rys. 2. Graf i jego podgrafy

Znane są również podgrafy indukowane zbiorem krawędzi [6]. Jeżeli krawędziowy zbiór indukujący E_{IG} ($E_{ID} \subseteq E$) grafu G_{IG} pokrywa się ze zbiorem jego krawędzi, a zbiór V_{IG} jego wierzchołków ze zbiorem końców krawędzi ze zbioru E_{ID} , to taki graf nazywa się podgrafem indukowanym zbiorem krawędzi E_{IG} . Istotnym pojęciem jest również graf częściowy nazywany także częścią grafu [8].

Definicja 2

Grafem częściowym danego grafu $G=(V,E)$ będziemy nazywać graf $G_{CG}=(V_{CG},E_{CG})$, którego zbiór wierzchołków V_{CG} i zbiór wierzchołków grafu G są równe, tj.: $V_{CG}=V$, a zbiór E_{CG} jego krawędzi jest podzbiorem zbioru krawędzi (łuków) grafu G , tj. $E_{CG} \subseteq E$. Innymi słowy grafem częściowym grafu G jest graf G_{CG} utworzony przez krawędzie grafu G .

W przykładzie z rys. 2d. przedstawiono graf częściowy grafu z rys. 2a. W najprostszym przypadku można przyjąć, że jeżeli graf G_1 jest podgrafem grafu G , to graf G jest nadgrafem grafu G_1 . Pojęcie nadgrafu dokładniej określa poniższa definicja.

Definicja 3

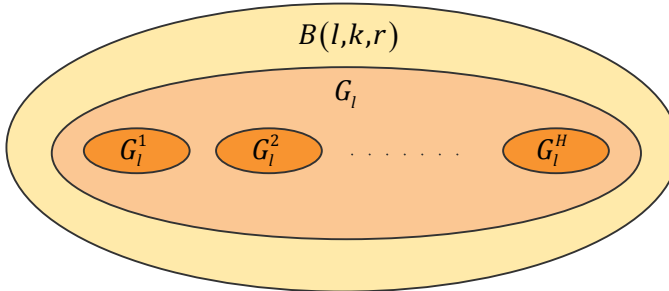
Nadgrafem $G_{NG}=(V_{NG},E_{NG})$ grafu $G=(V,E)$ będziemy nazywać graf, dla którego spełnione są relacje: $V \subset V_{NG}$, $E \subset E_{NG}$.

Nadgraf, określaný jest również terminem supergrafu [6] chociaż część autorów uważa te pojęcia za różne [7]. Zależności pomiędzy zbiorami wierzchołków i krawędzi obu grafów można przeanalizować wykorzystując rys. 1. Wszystkie powyższe definicje można uogólnić na grafy skierowane [9], [10].

3. Definicja zadania badawczego

Celem badań jest stworzenie efektywnej metody przechowywania macierzowego opisu hierarchicznego obiektu technicznego. Za przykład takiego systemu może posłużyć system teleinformatyczny wykorzystujący zwielokrotnienie kanałów komunikacyjnych, wydzielające w kanałach fizycznych zbiór niezależnych kanałów logicznych. W celu maksymalizacji współczynnika wykorzystania kanałów logicznych, stosowane są wieloskokowe ścieżki logiczne, będące podstawą budo-

wy topologii logicznych. Metoda zapisu powinna umożliwić przechowywanie dowolnej liczby topologii logicznych, w pełni autonomicznych lub powiązanych pomiędzy sobą za pośrednictwem węzłów fizycznych. Do rozwiązania zadania proponuje się zbudować spójny nadgraf, izomorficzny dowolnym sieciom logicznym, będący podgrafem grafu de Bruijna. Wykorzystanie grafu de Bruijna lub innego grafu nad alfabetem wynika z potrzeby efektywnego zapisu w pamięci komputera macierzowej reprezentacji zbioru grafów. Istota proponowanej metody została przedstawiona graficznie na rys. 3. Opracowana metoda może być wykorzystywana do opisu większości analizowanych obiektów technicznych.



Rys. 3. Idea metody przechowywania zbioru sieci logicznych

W celu określenia formalnej definicji zadania oraz sposobów jego rozwiązania rozważmy spójny nieskierowany skończony graf $G_f = (V_f, E_f)$ sieci fizycznej, gdzie: V_f – zbiór węzłów fizycznych (wierzchołków grafu), $|V_f| = n_f$; E_f – zbiór fizycznych kanałów komunikacyjnych (krawędzi grafu), $|E_f| = m_f$. Załóżmy, że w oparciu o sieć fizyczną G_f zbudowanych zostało H różnych sieci logicznych, opisanych za pomocą grafów skierowanych postaci $G_l^h = (V_l^h, E_l^h)$, gdzie: V_l^h – zbiór węzłów h -tej topologii logicznej (wierzchołków grafu), $|V_l^h| = n_l^h$; E_l^h – zbiór skierowanych kanałów komunikacyjnych (łuków grafu) o mocy m_l^h , $h = 1, \dots, H$.

Wykorzystując powyższe oznaczenia, można założyć że budowa spójnego skierowanego izomorficznego nadgrafu G_l , obejmującego zbiór sieci logicznych $\{G_l^h\}$, $h = 1, \dots, H$ polega na stworzeniu grafu, którego zbiór V_l wierzchołków opisuje wyrażenie:

$$V_l = \bigcup_{h=1}^H V_l^h, \quad (1)$$

a zbiór łuków:

$$E_l \supseteq \bigcup_{h=1}^H E_l^h. \quad (2)$$

Z kolei nadgraf G_l ma być podgrafem grafu de Bruijna $B(l, k, r)$, co oznacza:

$$\bigcup_{h=1}^H G_l^h(V_l^h, E_l^h) \cong G_l(V_l, E_l) \subseteq B(l, k, r). \quad (3)$$

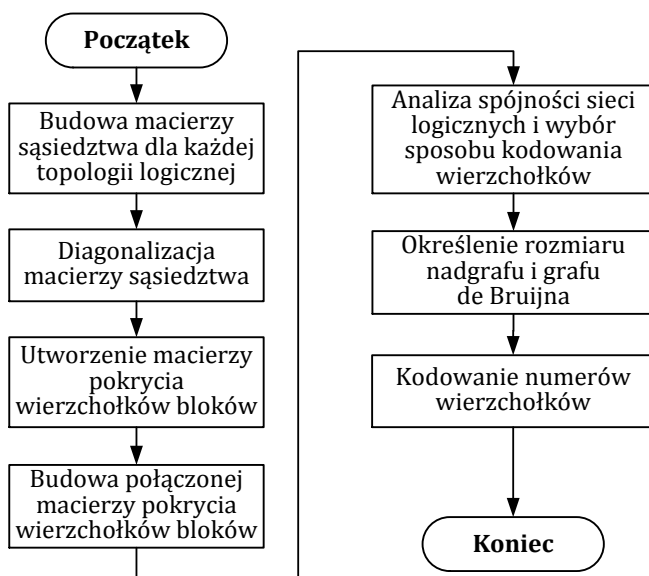
Zgodnie z opisem w [11], sieci logiczne tworzą węzły i kanały logiczne, wykorzystujące zasoby sieci fizycznej. Węzły logiczne budowane są w oparciu o zasoby węzłów fizycznych, kanały logiczne – kanałów fizycznych. W praktyce, pojawiają się powiązane sieci logiczne, rozłączone względem odpowiadających im zasobów fizycznych, tj. $V_f^h \cap V_f^i = \emptyset$, gdzie: V_f^h, V_f^i – zbiór węzłów fizycznych, odpowiednio h -tej oraz i -tej sieci logicznej; $h, i = 1, \dots, H, h \neq i$. Oznacza to, że do ich połączenia i zapewnienia komunikacji pomiędzy nimi, konieczne będzie zastosowanie mostów. Dalej, mostem będziemy nazywać krawędź grafu (w danym przypadku skierowany kanał komunikacyjny), którego usunięcie zwiększa liczbę komponentów spójności grafu (sieci) [6].

Niech M_l oznacza zbiór łuków logicznych, łączących wierzchołki logiczne rozłącznych sieci logicznych, dodatkowo $M_l = E_l \setminus \bigcup_{h=1}^H E_l^h$. Wtedy, M_l jest uzupełnieniem zbioru E_l łuków nadgrafu sieci logicznych, a wyrażenie (3) można przedstawić w postaci:

$$\bigcup_{h=1}^H G_l^h(V_l^h, E_l^h) \cup M_l \cong G_l(V_l, E_l) \subseteq B(l, k, r). \quad (4)$$

Jeżeli sieci logiczne mają wspólne węzły fizyczne to zbiór M_l może być zbiorem pustym. Taka sytuacja w praktyce spotykana jest najczęściej.

Kolejne kroki rozwiązania zadania przedstawione zostały na rys. 4.



Rys. 4. Kroki procedury zapisu zbioru topologii logicznych w grafie de Bruijna

Budowa blokowo-diagonalnej macierzy $A_{l_{b-d}}^h$ sąsiedztwa każdej z sieci logicznych G_l^h , może być zrealizowana za pomocą procedury przedstawionej w [12]. Do tego celu można wykorzystać również dowolną procedurę przekształcenia macierzy do postaci blokowo-diagonalnej [13], [14]. Analizę spójności sieci logicznych można wykonać za pomocą zmodyfikowanych metod badania spójności grafów [15]. Wymagane modyfikacje dotyczą przede wszystkim wykorzystywanych struktur danych. Określenie rozmiaru grafu de Bruijna oraz kodowanie jego wierzchołków opisano w dalszej części rozdziału.

4. Procedura budowy blokowo-diagonalnej macierzy sąsiedztwa

Rozważmy sieć połączeniową t , opisaną za pomocą grafu skierowanego $G_t = (V_t, E_t)$, gdzie: V_t – zbiór wierzchołków grafu, $|V_t| = n_t$; E_t – zbiór łuków, $|E_t| = m_t$. Macierz blokowo-diagonalna opisująca graf G_t będzie macierzą kwadratową o rozmiarze $n_t \times n_t$. Budowę jej oprzemy na podziale zbioru V_t wierzchołków grafu na rozłączne podzbiory. Każdy ze zbiorów w blokowo-diagonalnej macierzy sąsiedztwa tworzyć będzie niepusty blok, którego elementy przyjmują wartości 0 lub 1. Pozostałe bloki, niewchodzące w skład przekątnej posiadają wyłącznie zerowe elementy. Procedura została oparta na przestawianiu w macierzy sąsiedztwa wierszy oraz kolumn, wykonywanym już po podziale jej elementów na rozłączne zbiory.

Procedura budowy blokowo-diagonalnej macierzy sąsiedztwa wykorzystuje podział zbioru V_t wierzchołków grafu G_t na rozłączne podzbiory. W tym celu, w macierzy sąsiedztwa A_t wybieramy dowolny wiersz, odpowiadający wierzchołkowi $v_i^t \in V_t$. Następnie, określamy wszystkie kolumny macierzy A_t sąsiedztwa, dla których w punkcie przecięcia ze wskazanym wierszem występują elementy o wartości 1 (zgodnie z definicją macierzy sąsiedztwa [4], poszukujemy par wierzchołków powiązanych ze sobą łukiem). Dalej, dla analizowanego wierzchołka v_i^t określamy zbiór $\{v^t\}_i^{in}$ wierzchołków, do których dochodzą łuki wychodzące ze wskazanego wierzchołka i analizujemy kolumny odpowiadające wierzchołkom ze zbioru $\{v^t\}_i^{in}$. W kolejnym kroku, określamy wszystkie wiersze, na przecięciu których z określonymi wcześniej kolumnami pojawiają się wartości 1. Na podstawie zbioru $\{v^t\}_i^{in}$ tworzymy nowy zbiór $\{\{v^t\}_i^{in}\}^{out}$. Dalej, analizujemy wiersze, odpowiadające wierzchołkom ze zbioru $\{\{v^t\}_i^{in}\}^{out}$. Określamy wszystkie kolumny, na przecięciu których z określonymi wcześniej wierszami rozmieszczone są wartości 1. Dla zbioru $\{\{v^t\}_i^{in}\}^{out}$ określamy nowy zbiór $\{\{\{v^t\}_i^{in}\}^{out}\}^{in}$. Opisaną powyżej procedurę kontynuujemy do momentu, kiedy określane zbiory nie będą się powtarzać. W ten sposób, po jej zakończeniu, określone zostaną zbiory V_{1m}^t wierzchołków, z których wychodzą łuki skierowane wyłącznie do wierzchołków ze zbioru V_{m1}^t . W ogólnym przypadku, zbiory te będą posiadały postać:

$$V_{lm}^t = v_i^t \cup \left\{ \left\{ v_i^t \right\}^{in} \right\}^{out} \cup \left\{ \left\{ \left\{ v_i^t \right\}^{in} \right\}^{out} \right\}^{in} \right\}^{out} \cup \dots \cup \left\{ \dots \left\{ \left\{ v_i^t \right\}^{in} \right\}^{out} \dots \right\}^{in} \right\}^{out}, \quad (5)$$

$$V_{ml}^t = \left\{ v_i^t \right\}^{in} \cup \left\{ \left\{ \left\{ v_i^t \right\}^{in} \right\}^{out} \right\}^{in} \cup \left\{ \left\{ \left\{ \left\{ v_i^t \right\}^{in} \right\}^{out} \right\}^{in} \right\}^{out} \right\}^{in} \cup \left\{ \left\{ \left\{ \dots \left\{ v_i^t \right\}^{in} \right\}^{out} \dots \right\}^{in} \right\}^{out} \right\}^{in}. \quad (6)$$

Wraz z utworzeniem zbiorów V_{1m}^t oraz V_{m1}^t kończy się pierwszy krok algorytmu. Jeżeli $V_{1m}^t \neq V_t$ to w kolejnym jego kroku ($l = 2$), jako v_i^t wybieramy wierzchołek $v_i^t \in V_t \setminus V_{1m}^t$ i dla niego na podstawie wyrażeń (5) oraz (6) określamy zbiory V_{2m}^t oraz V_{m2}^t . Jeżeli $V_{1m}^t \cup V_{2m}^t \neq V_t$, działania te wykonujemy ponownie. Po wykonaniu p kroków ($0 < p < n_t$) spełniony jest warunek: $\bigcup_{l=1}^p V_{lm}^t = V_t$ i procedura tworzenia zbiorów V_{lm}^t oraz V_{ml}^t kończy się.

5. Określenie rozmiaru nadgrafu i grafu de Bruijna

Dalej analizować będziemy graf de Bruijna postaci $B(l, k, s)$, gdzie: l – długość słowa; k – podstawa alfabetu; s – różnica pokrycia słów. Macierz sąsiedztwa takiego grafu jest kwadratowa i posiada rozmiar $k^l \times k^l$. Można ją przekształcić do postaci blokowo-diagonalnej, zawierającej k^{l-s} bloków o rozmiarze $k^s \times k^s$.

Jako C_i^w oznaczymy zbiór indeksów wierszy i -tego bloku macierzy sąsiedztwa, a jako C_j^k zbiór indeksów kolumn. Wtedy element $C_{i,j}$ macierzy pokrycia wierzchołków bloków możemy zapisać jako:

$$C_{i,j} = C_i^w \cap C_j^k = \{(i-1) + (j-1)k^s\}, \quad (7)$$

gdzie: $i, j = 1, \dots, L_{b-d}$, L_{b-d} – liczba bloków macierzy. Wykorzystując wyrażenie (7), macierz pokrycia wierzchołków bloków można zbudować bezpośrednio bez tworzenia macierzy blokowo-diagonalnej.

Zgodnie z wyrażeniem (7), macierz pokrycia wierzchołków bloków dla grafu de Bruijna posiada rozmiar $k^{l-s} \times k^{l-s}$. Zauważmy przy tym, że:

$$\left| C_i^w \cap \bigcup_{j=1}^{L_{b-d}} C_j^k \right| = \left| C_j^k \cap \bigcup_{i=1}^{L_{b-d}} C_i^w \right| = k^s. \quad (8)$$

Zauważmy również, że:

$$\left| \bigcup_{j=1}^{L_{b-d}} C_j^k \right| = L_{b-d} |C_j^k|$$

oraz

$$\left| \bigcup_{j=1}^{L_{b-d}} C_j^w \right| = L_{b-d} |C_j^w|.$$

W rezultacie, dla dowolnego $i, j = 1, \dots, L_{b-d}$ możemy zapisać:

$$L_{b-d} |C_i^w \cap C_j^k| = k^s. \quad (9)$$

W ten sposób, uwzględniając wyrażenia (8) oraz (9), zakładając dodatkowo, że podstawa alfabetu k jest z góry określona, wartość różnicy s pokrycia słów możemy określić na podstawie wyrażenia:

$$s = \log_k |C_i^w \cap C_j^k| + \lceil \log_k L_{b-d} \rceil. \quad (10)$$

Dodatkowo zauważmy, że:

$$|C_i^w \cap C_j^k| = |C_{i,j}|, \quad (11)$$

gdzie: $C_{i,j}$ – element i, j macierzy pokrycia wierzchołków bloków. Podstawiając wyrażenie (11) do (10) otrzymamy:

$$s = \log_k |C_{i,j}| + \lceil \log_k L_{b-d} \rceil. \quad (12)$$

Obecnie, określimy długość l słowa dla zdefiniowanej podstawy k alfabetu. Zauważmy, że rozmiar macierzy sąsiedztwa jest równy sumie rozmiarów bloków, a ponieważ bloki są identyczne możemy przyjąć, że $k^l = L_{b-d} k^s$. Zauważmy również, że długość słowa jest sumą różnicy s pokrycia i samego pokrycia, tj. $l = s + \log_k k^{l-s}$. Ponieważ $k^{l-s} = L_{b-d}$, uwzględniając wyrażenia (9) i (11) możemy zapisać, że:

$$l = \log_k |C_{i,j}| + 2 \lceil \log_k L_{b-d} \rceil. \quad (13)$$

Na bazie powyższych rozważań określimy minimalny rozmiar grafu de Bruijna, przeznaczonego do przechowywania nadgrafu topologii logicznych. Załóżmy, że podstawa k alfabetu została określona. Wtedy, dla $i, j = 1, \dots, L_{b-d}$ i $h = 1, \dots, H$ różnica s pokrycia słów może zostać określona wyrażeniem:

$$s = \left\lceil \log_k \max_{i,j} |B_{i,j}| \right\rceil + \left\lceil \log_k \max_h L_{b-d}^h \right\rceil, \quad (14)$$

gdzie: L_{b-d}^h – liczba bloków diagonalnych h -tej sieci logicznej. Jeżeli w wyrażeniu (14) uwzględnimy zależności (5) oraz (6) to można go przedstawić w poniższy sposób:

$$s = \left\lceil \log_k \max_{i,j} |B_i^w \cap B_j^k| \right\rceil + \left\lceil \log_k \max_h L_{b-d}^h \right\rceil. \quad (15)$$

Z kolei, długość l słowa alfabetu możemy zapisać jako:

$$l = \left\lceil \log_k \max_{i,j} |B_{i,j}| \right\rceil + 2 \left\lceil \log_k \max_h L_{b-d}^h \right\rceil, \quad (16)$$

a po uwzględnieniu wyrażeń (5) oraz (6) jako:

$$l = \left\lceil \log_k \max_{i,j} |B_i^w \cap B_j^k| \right\rceil + 2 \left\lceil \log_k \max_h L_{b-d}^h \right\rceil. \quad (17)$$

Zauważmy, że w procesie przechowywania struktury sieci logicznych istotnymi są nie tylko wartości samych parametrów, ale również ich wzajemne relacje. Ze sposobu tworzenia grafu de Bruijna oraz opracowanej metody numerowania wierzchołków wynika, że z punktu widzenia tworzenia nadgrafu, istotna jest również różnica pomiędzy długością słowa alfabetu a różnicą pokrycia słów, tj. $l - s$. W szczególności, różnica ta wpływa na ilość podgrafów, które mogą zostać wpisane w graf nad alfabetem.

6. Numerowanie wierzchołków grafu

Istota zaproponowanej metody polega na odpowiednim zakodowaniu numerów wierzchołków dowolnego grafu tak, aby mógł być on zapisany w macierzy sąsiedztwa grafu de Bruijna. W danym przypadku można wykorzystać dwa sposoby kodowania: niezależne i skorelowane. Numerowanie *niezależne* polega na przypisaniu wierzchołkom grafów każdej topologii logicznej indywidualnych numerów kodowych. Oznacza to, że każda z sieci jest niezależna i sieci logiczne mogą być niepowiązane pomiędzy sobą. Z kolei stosując numerowanie *skorelowane*, kilku wierzchołkom różnych sieci logicznych, przypisuje się ten sam numer kodowy.

6.1. Numerowanie niezależne

Rozważmy zbiór topologii logicznych, które w sieci fizycznej są rozłączne, tj. nie mają one wspólnych węzłów fizycznych. Innymi słowy topologie te są pomiędzy sobą niespójne. Niech h -ta sieć logiczna zostanie przedstawiona za pomocą macierzy B^h pokrycia wierzchołków bloków. Każdemu z wierzchołków komórki B_{ij}^h przypisywany jest wierzchołek ze zbioru węzłów grafu de Bruijna. Tak więc, dowolnemu numerowi $a \in B_{i,j}^h$, $i, j = 1, \dots, L_{b-d}^h$, $h = 1, \dots, H$ wierzchołka ze zbioru numerów wierzchołków topologii logicznej, przypisujemy prywatny numer c ze zbioru kodowanych numerów wierzchołków grafu nad alfabetem i $c \in C_{i,j}$, $i, j = 1, \dots, L_{b-d}^h$. W ten sposób, wierzchołki dowolnych grafów otrzymują numery:

$$\bigcup_{h=1}^H V_l^h \sim V_j = \bigcup_{h=1}^H V_{ij}^h \subseteq \{(i-1) + (j-1)k^s + \vartheta k^r\}, \quad (18)$$

gdzie: $\vartheta = 0, 1, \dots, k^s$, $i, j = 1, \dots, L_{b-d}$, $L_{b-d} = \max_{h=1, \dots, H} L_{b-d}^h$. Zmienna ϑ pozwala zapisać w jednej macierzy pokrycia, wiele wierzchołków należących do różnych topologii logicznych.

Załóżmy, że topologie logiczne są rozłączne (tj. nie posiadają wspólnych węzłów). Wtedy zaproponowana metoda przechowywania macierzy może zostać wykorzystana również do określenia mostów łączących te topologie. W tym celu

wykorzystujemy metodykę, którą możemy opisać w następująco: początkowym wierzchołkiem mostu będzie $v_x \in V_{qj}^x$, $j = 1, 2, \dots, L_{b-d}$, $x = 1, 2, \dots, H$ znajdujący się na dowolnej pozycji q -tego wiersza macierzy. Wierzchołkiem końcowym mostu jest zaś $v_y \in V_{iq}^x$, $i = 1, 2, \dots, L_{b-d}$, $y = 1, 2, \dots, H$, rozmieszczony w dowolnym wierszu q -tej kolumny macierzy, przy czym: $x \neq y$.

W rzeczywistych systemach spotykamy również sieci logiczne rozłączne względem swoich zasobów fizycznych, tj. $V_f^h \cap V_f^i = \emptyset$, gdzie: V_f^h, V_f^i – zbiór węzłów fizycznych, odpowiednio h -tej oraz i -tej sieci logicznej, $h, i = 1, 2, \dots, H$, $h \neq i$. Oznacza to, że w celu umożliwienia komunikacji pomiędzy nimi konieczne będzie określenie lokalizacji mostów. Niech M_l oznacza zbiór łuków logicznych, łączących wierzchołki logiczne rozłącznych sieci logicznych i $M_l = E_l \setminus \bigcup_{h=1}^H S_l^h$. Wtedy, M_l jest uzupełnieniem zbioru E_l łuków nadgrafu sieci logicznych. W rezultacie otrzymujemy:

$$\bigcup_{h=1}^H G_l^h(V_l^h, E_l^h) \cup M_l \cong G_l(V_l, E_l) \subseteq B(l, k, r). \quad (19)$$

6.2. Numerowanie skorelowane

W numerowaniu skorelowanym topologie logiczne przedstawiane są jako jeden podgraf indukowany grafu de Bruijna. Rozważmy zatem h -tą topologię logiczną $G_l^h = (V_l^h, E_l^h)$. Dla każdego z wierzchołków $v \in V_l^h$ wprowadzimy funkcję odwzorowania $f: \{v^h\} \rightarrow v$, która pewnemu podzbirowi $\{v^h\}$ zbioru V_l^h wierzchołków sieci logicznej przyporządkowuje jeden jedyny wierzchołek v . Z inżynierskiego punktu widzenia operacja ta zamienia grupę wierzchołków jednym wspólnym wierzchołkiem. Przyjmijmy, że zbiór $\{v^h\}$ ma postać $\{v^h\} = \{v_k^\alpha, v_l^\beta, \dots, v_m^\chi\}$, gdzie: $\alpha \neq \beta \neq \dots \neq \chi$ oraz $\alpha, \beta, \dots, \chi \in [1, H]$. Funkcja f jest wykonywana na zbiorze $\bigcup_{h=1}^H V_l^h$ wierzchołków, należących do różnych topologii logicznych, a jej działanie można zapisać jako:

$$f(v_k^\alpha, v_l^\beta, \dots, v_m^\chi) \rightarrow v_{kl, \dots, m}^{\alpha\beta, \dots, \chi} \cong v^\omega \in V_{ij}, \quad (20)$$

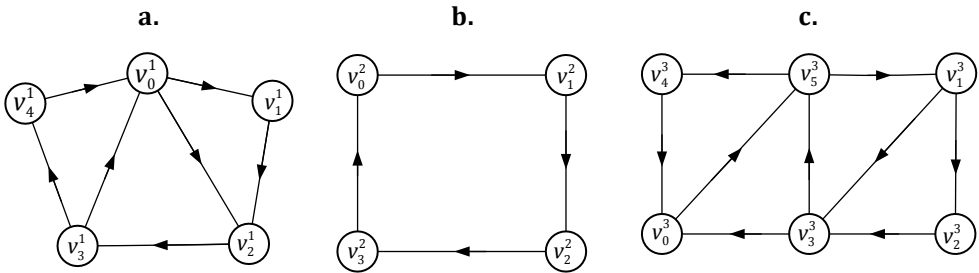
gdzie: $i, j = 1, \dots, L_{b-d}$, $L_{b-d} = \max_{h=1, \dots, H} L_{b-d}^h$ oraz $\alpha \neq \beta \neq \dots \neq \chi \in [1, \dots, T]$.

Z wykorzystaniem funkcji f , wierzchołkom ze zbioru $\{v_k^\alpha, v_l^\beta, \dots, v_m^\chi\}$, $\alpha \neq \beta \neq \dots \neq \chi \in [1, \dots, H]$, przypisuje się jeden numer kodowy, pozostałe węzły otrzymują numery prywatne. Numery prywatne należy przypisywać wyłącznie wierzchołkom, które wchodzi tylko w jeden element macierzy. Wierzchołkom, które należą do różnych elementów macierzy, prywatny numer nie jest nadawany.

6.3. Przykład kodowania

Rozważmy trzy topologie logiczne przedstawione na rys. 5, odpowiednio za pomocą grafów $G_1 = (V_1, E_1)$ (a.), $G_2 = (V_2, E_2)$ (b.) oraz $G_3 = (V_3, E_3)$ (c.). Przy

oznaczaniu wierzchołków przyjmiemy zasadę, zgodnie z którą górny indeks oznaczać będzie numer grafu, dolny zaś numer wierzchołka, na przykład: v_3^1 oznacza wierzchołek 3 grafu 1.



Rys. 5. Grafy przykładowych topologii logicznych

Krok 1. Przedstawienie sieci połączeniowej w postaci macierzy sąsiedztwa wierzchołków i jej diagonalizacja

Macierze sąsiedztwa wierzchołków mają przed i po sprowadzeniu ich do postaci blokowo-diagonalnej przedstawioną poniżej postać. Do wykonania diagonalizacji możemy użyć dowolnej metody, w tym również jednej z przedstawionych w pracy [12].

Graf G_1

	0	1	2	3	4
0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0
2	0	0	0	1	0
3	1	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0

	1	2	3	0	4
0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	1
4	0	0	0	1	0

Graf G_2

	0	1	2	3
0	0	1	0	0
1	0	0	1	0
2	0	0	0	1
3	1	0	0	0

	1	2	3	0
0	1	0	0	0
1	0	1	0	0
2	0	0	1	0
3	0	0	0	1

Graf G_3

	0	1	2	3	4	5		0	5	2	3	1	4
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	3	1	1	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
4	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0
5	0	1	0	0	1	0	5	0	0	0	0	1	1

Krok 2. Budowa macierzy przecięć numerów wierzchołków

W tabeli 1 przedstawiono zbiory wierzchołków bloków macierzy blokowo-diagonalnych dla wszystkich rozpatrywanych grafów.

Tabela 1. Zbiory wierzchołków bloków macierzy blokowo-diagonalnych

l	V_{lm}^1	V_{ml}^1	l	V_{lm}^2	V_{ml}^2	l	V_{lm}^3	V_{ml}^3
1	0,1	1,2	1	0	1	1	0,3,4	0,5
2	2	3	2	1	2	2	1,2	2,3
3	3,4	0,4	3	2	3	3	5	1,4
			4	3	0			

W ten sposób, elementy macierzy pokryć numerów wierzchołków grafów dla grafów G_1 , G_2 i G_3 będą miały postać przedstawioną w tabeli .

Tabela 2. Elementy macierzy pokryć.

G_1	G_2	G_3
$V_{1,1}^1=1; V_{1,2}^1=\emptyset; V_{1,3}^1=0;$	$V_{1,1}^2=\emptyset; V_{1,2}^2=\emptyset; V_{1,3}^2=\emptyset; V_{1,4}^2=0;$	$V_{1,1}^3=0; V_{1,2}^3=3; V_{1,3}^3=4;$
$V_{2,1}^1=2; V_{2,2}^1=\emptyset; V_{2,3}^1=\emptyset;$	$V_{2,1}^2=1; V_{2,2}^2=\emptyset; V_{2,3}^2=\emptyset; V_{2,4}^2=\emptyset;$	$V_{2,1}^3=\emptyset; V_{2,2}^3=2; V_{2,3}^3=1;$
$V_{3,1}^1=\emptyset; V_{3,2}^1=3; V_{3,3}^1=4.$	$V_{3,1}^2=\emptyset; V_{3,2}^2=2; V_{3,3}^2=\emptyset; V_{3,4}^2=\emptyset;$	$V_{3,1}^3=5; V_{3,2}^3=\emptyset; V_{3,3}^3=\emptyset.$
	$V_{4,1}^2=\emptyset; V_{4,2}^2=\emptyset; V_{4,3}^2=3; V_{4,4}^2=\emptyset.$	

Macierze pokryć numerów wierzchołków przyjmą postać z tabeli 3.

Tabela 3. Zbiory wierzchołków bloków macierzy blokowo-diagonalnych

C_{G_1}	1	2	3	C_{G_2}	1	2	3	4	C_{G_3}	1	2	3
1	1	\emptyset	0	1	\emptyset	\emptyset	\emptyset	0	1	0	3	4
2	2	\emptyset	\emptyset	2	1	\emptyset	\emptyset	\emptyset	2	\emptyset	2	1
3	\emptyset	3	4	3	\emptyset	2	\emptyset	\emptyset	3	5	\emptyset	\emptyset
				4	\emptyset	\emptyset	3	\emptyset				

Połączona macierz pokrycia numerów wierzchołków dla grafów G_1, G_2, G_3 przyjmie postać przedstawioną w tabeli 4.

Tabela 4. Połączona macierz przecięcia numerów wierzchołków

$C_{G_1 \cup G_2 \cup G_3}$	1	2	3	4
1	$\{v_1^1, v_0^3\}$	$\{v_3^3\}$	$\{v_0^1, v_4^3\}$	$\{v_0^2\}$
2	$\{v_2^1, v_1^2\}$	$\{v_2^3\}$	$\{v_1^3\}$	0
3	$\{v_5^3\}$	$\{v_3^1, v_2^2\}$	$\{v_4^1\}$	0
4	0	0	$\{v_2^3\}$	0

Obecnie przejdziemy do wykonania procedury kodowania wierzchołków, którą wykonamy dla obu zaprezentowanych sposobów.

SPOSÓB 1 – Kodowanie niezależne

Krok 1. Wybór rozmiaru grafu

Zakładając, że $k = 2$ obliczamy wartości $s = 3$ (wyrażenie (14)) oraz $l = 5$ (wyrażenie (16)) dla podgrafu grafu de Bruijna.

Krok 2. Numerowanie wierzchołków

Wierzchołkom grafów $G_1 = (V_1, E_1)$, $G_2 = (V_2, E_2)$, $G_3 = (V_3, E_3)$ przypisujemy zakodowane numery wierzchołków grafu $B(5,2,3)$ (patrz Tabela 5).

Tabela 5. Przypisanie numerów wierzchołków grafów dla niezależnej numeracji

Parametry grafu de Bruijna	Węzeł w sieci	Wiersz i kolumna w macierzy	Kodowany numer
1	2	3	4
$l = 5$ $k = 2$ $s = 3$	Sieć 1		
	v_0^1	1,3	10000
	v_1^1	1,1	00000
	v_2^1	2,1	00001
	v_3^1	3,2	01010
	v_4^1	3,3	10010
	Sieć 2		
	v_0^2	1,4	11000
	v_1^2	2,1	00101
	v_2^2	3,2	01110
	v_3^2	4,3	10011

1	2	3	4
$l=5$ $k=2$ $s=3$	Sieć 3		
	v_0^3	1,1	00100
	v_1^3	2,3	10101
	v_2^3	2,2	01001
	v_3^3	1,2	01000
	v_4^3	1,3	10100
	v_5^3	3,1	00010

Krok 3. Lokalizacja mostów

Określamy zbiór mostów: $v_5^3(00010) \rightarrow v_0^1(10000)$, $v_0^2(11000) \rightarrow v_0^3(00100)$ itd.

SPOSÓB 2. Numerowanie skorelowane

Krok 1. Określenie przypisania.

Na podstawie macierzy przecięć numerów wierzchołków określamy te spośród wierzchołków, którym zostaną przypisane oryginalne numery kodowe i wykonujemy na nich operację numerowania: $f: \{x_1^1, x_3^0\} \rightarrow x_{10}^{13}$, $f: \{x_0^1, x_4^3\} \rightarrow x_{04}^{13}$, $f: \{x_2^1, x_1^2\} \rightarrow x_{21}^{12}$, $f: \{x_3^1, x_2^2\} \rightarrow x_{32}^{12}$.

Krok 2. Określenie rozmiaru podgrafu.

Zakładając, że $k = 2$ obliczamy wartości $s = 2$ (wyrażenie (14)) oraz $l = 4$ (wyrażenie (16)) dla podgrafu grafu de Bruijna.

Krok 3. Kodowanie wierzchołków.

Wierzchołkom grafów $G_1 = (V_1, E_1)$, $G_2 = (V_2, E_2)$, $G_3 = (V_3, E_3)$ przypisujemy kodowane numery grafu przecięć kodowych $B(4,2,2)$ (patrz Tabela 6).

Tabela 6. Przypisanie numerów wierzchołków grafów dla skorelowanej numeracji

Parametry grafu de Bruijna	Węzeł w sieci	Wiersz i kolumna w macierzy	Kodowany numer
1	2	3	4
$l=4$ $k=2$ $s=2$	Sieć 1		
	v_0^1	1,3	1000
	v_1^1	1,1	0000
	v_2^1	2,1	0001
	v_3^1	3,2	0110
	v_4^1	3,3	1010

1	2	3	4
$l=4$ $k=2$ $s=2$	Sieć 2		
	v_0^2	1,4	1100
	v_1^2	2,1	0001
	v_2^2	3,2	0110
	v_3^2	4,3	1011
	Sieć 3		
	v_0^3	1,1	0000
	v_1^3	2,3	1001
	v_2^3	2,2	0101
	v_3^3	1,2	0100
	v_4^3	1,3	1000
	v_5^3	3,1	0010

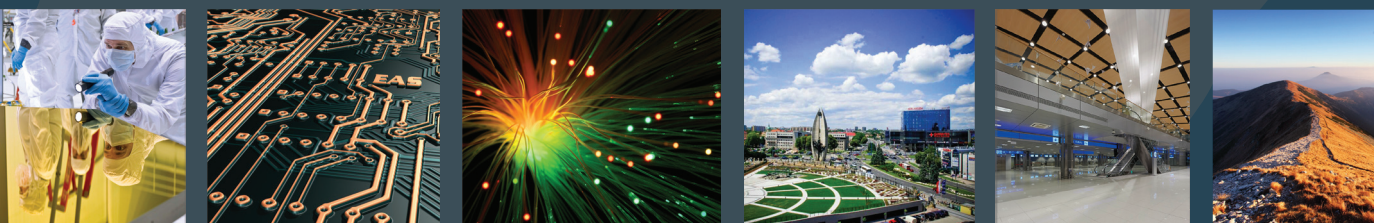
7. Podsumowanie i dalsze prace

Wykorzystanie, zaproponowanej jednolitej przestrzeni informacyjnej (kodowej) pozwala efektywnie rozwiązywać szereg zadań spotykanych w syntezie i analizie obiektów technicznych. Oprócz ograniczenia złożoności pamięciowej i umożliwienia wyszukiwania mostów, metoda może być wykorzystana do określenia najkrótszych ścieżek w systemie infrastruktury krytycznej. Zadanie to, polega na określeniu ścieżek ewakuacji poprzez kilka niezależnych sieci transportowych. Długość takiej ścieżki definiowana jest jako suma długości ścieżek w poszczególnych systemach transportowych. Niestety, w ogólnym przypadku ścieżka taka nie jest najkrótszą łączącą wskazane lokalizacje. Wykorzystanie właściwości grafów przecięć kodowych pozwala formalizować i optymalizować procedurę określenia najkrótszych ścieżek, w sieciach wieloelementowych. Określenie ścieżek, sprowadza się do wykonania sekwencji procedur obliczeniowych nad kombinacjami numerów wierzchołków. Procedury te są proste i nie krytyczne względem wymaganych zasobów, w szczególności w odniesieniu do pamięci komputera. Wykorzystanie sformalizowanej prezentacji połączeń jest efektywne dla komputerów, w szczególności przy rozwiązaniu złożonych zadań modelowania obiektów technicznych.

Dalsze prace autorów będą dotyczyć wykorzystania innych typów grafów do analizy i syntezy obiektów technicznych, analizowane będą możliwości zastosowania opracowanych rozwiązań do analizy żywotności obiektów technicznych.

Bibliografia

- [1] C. S. Wasson, *System Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices*, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.
- [2] R. B. Northrop, *Introduction to Complexity and Complex Systems*, New York: CRC Press, 2010.
- [3] G. Chartrand i P. Zhang, *A First Course in Graph Theory*, Boston: Dover Publications, 2012.
- [4] I. N. Bronsztejn, K. A. Siemiendajew, G. Musiol i H. Muhlig, *Nowoczesne kompendium matematyki*, Warszawa: Wydawnictwa Naukowe PWN, 2004.
- [5] J. Harris, J. L. Hirst i M. Mossinghoff, *Combinatorics and Graph Theory*, 2 red., New York: Springer, 2008.
- [6] J. L. Gross i J. Yellen, *Handbook of graph theory*, London: CRC Press, 2004.
- [7] R. Diestel, *Graph Theory*, 4 red., New York: Springer, 2010.
- [8] R. J. Wilson, *Wprowadzenie do teorii grafów*, Warszawa: PWN, 2008.
- [9] D. B. West, *Introduction to Graph Theory*, 2 red., New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [10] M. van Steen, *Graph Theory and Complex Networks: An Introduction*, Burlington: Morgan Kaufman, 2010.
- [11] M. Hajder, P. Dymora i M. Mazurek, „Projektowanie topologii transparentnych sieci optycznych”, *Konferencja Polski Internet Optyczny: technologie, usługi i aplikacje*, Poznań, 2002.
- [12] M. Mazurek, *Metody poprawy jakości komunikacji w systemach rozproszonych i wysokoprzepustowych sieciach komputerowych*, Częstochowa: Politechnika Częstochowska, 2009.
- [13] A. Turowicz, *Teoria miacierzy*, Kraków: Wydawnictwo AGH, 2005.
- [14] T. Kaczorek, *Wektory i Macierze w Automatyce i Elektrotechnice*, WNT: Warszawa, 2008.
- [15] T. A. Hamdy, *Operations Research: An Introduction*, New Jersey: Prentice Hall, 2005.



Podstawowym zadaniem każdej władzy publicznej jest systematyczna poprawa poziomu życia mieszkańców. Jednak podejmowane działania nie mogą ograniczać się do dbałości o stan infrastruktury, czyste środowisko i walki z patologiami społecznymi, ale powinny obejmować także tworzenie podstaw bezpieczeństwa ekonomicznego ludności, gdyż to właśnie ono jest bazą dobrobytu.

Wiele państw i regionów przekonało się, że budowa dobrobytu opartego na prostym wykorzystaniu zasobów naturalnych jest działaniem bardzo ryzykownym. Dzisiaj, dobrobyt należy opierać na gałęziach przemysłu i usług, szeroko wykorzystujących zdobycze współczesnej nauki i techniki, a także na niepowtarzalnych walorach środowiskowych regionów.

Dzięki istniejącej już infrastrukturze naukowo-badawczej, opartej głównie na lokalnych uczelniach wyższych, znacznemu potencjałowi produkcyjnemu, w takich branżach jak lotnictwo czy informatyka, a także niepowtarzalnym walorom przyrodniczym i środowiskowym, Podkarpacie ma szansę, w nieodległej przyszłości, stać się krajowym liderem poziomu życia. Niniejsza monografia ma pomóc samorządom we wdrażaniu własnej polityki innowacyjności, w poprawie atrakcyjności inwestycyjnej, a w rezultacie w podwyższeniu poziomu życia mieszkańców.

