

ROLA WODY W ŻYCIU CZŁOWIEKA I ŚRODOWISKU

Beata Lubkowska

Wyższa Szkoła Zarządzania, Wydział Fizjoterapii i Nauk o Zdrowiu

Słowa kluczowe: woda, lód, para wodna, dipol, żywność, ścieki

Streszczenie: Woda jest najbardziej rozpowszechnionym, a zarazem najważniejszym związkem chemicznym na naszej planecie. To jedyna substancja występująca w trzech stanach skupienia. Woda, jako ciecz i lód, pokrywa 70% powierzchni Ziemi, a jako para wodna jest istotnym składnikiem otaczającej atmosfery. Odgrywa ogromną rolę w przyrodzie. Jest niezbędna do procesów życiowych organizmów żywych i roślin m.in. w procesie fotosyntezy, w procesach geochemicznych np. w wietrzeniu skał. Woda, dzięki dużej pojemności cieplnej (magazynowaniu olbrzymiej ilości ciepła), chroni organizmy żywe przed przegrzaniem i przeziębieniem, a także, na skutek niezwyklej rozszerzalności temperaturowej, powierzchniowa warstwa wody zamarzając, nie tonie, lecz pozostaje na powierzchni – dzięki temu zbiorniki wodne nie zamarzają aż do dna, co ma ogromne znaczenie dla organizmów zimujących w wodzie.

Rola wody w życiu człowieka jest równie ogromna. W organizmie ludzkim jest jej około 75%, więc jest oczywiste, że zasoby wodne organizmu muszą być stale uzupełniane. Choć nie jest składnikiem odżywczym, bez niej nie istniałoby życie. Człowiek pozbawiony pożywienia może przeżyć kilka tygodni, bez wody zginąłby po kilku dniach. Woda szczególnie wykorzystywana jest w gospodarstwie domowym (do picia, gotowania, utrzymania czystości), w rolnictwie, w transporcie wodnym, w produkcji energii elektrycznej (w elektrowniach wodnych woda porusza turbiny wytwarzające energię elektryczną, a w elektrowniach cieplnych i jądrowych woda jest stosowana jako czynnik chłodzący), we wszystkich gałęziach przemysłu (jako surowiec do produkcji i jako środowisko do przebiegu procesów produkcyjnych).

Wstęp

Woda jest głównym składnikiem ilościowym wszystkich żyjących na ziemi organizmów i jednocześnie ważnym elementem środowiska, w którym żyją. Naukowe i techniczne zainteresowanie wodą jest większe niż jakąkolwiek inną substancją. Powodem tego

jest jej znaczenie w chemii fizycznej, reakcjach chemicznych (duży wpływ solwatacji na przebieg reakcji), biochemii i biologii (oddziaływanie woda – makrocząsteczki, środowisko reakcji enzymatycznych, właściwości transportowe i osmotyczne, wpływ na wzrost drobnoustrojów), meteorologii (tworzenie się chmur i opady), jak również w naukach o znaczeniu praktycznym takich jak nauka o żywności (wpływ wody na jakość i trwałość żywności), technologie w przemyśle spożywczym (przetwórstwo, suszenie i kondycjonowanie produktów) [1].

Woda otacza nas ze wszystkich stron, jest zarówno podstawowym składnikiem środowiska zewnętrznego, jak i głównym składnikiem organizmów żywych. To bardzo reaktywny związek chemiczny, uniwersalny rozpuszczalnik i czynnik dyspergujący. Woda rozpuszcza sole nieorganiczne i większość związków organicznych, szczególnie zawierających grupy hydrofilowe, obecnych w ciele człowieka. Wewnątrz komórek – w środowisku wodnym – zachodzą reakcje biochemiczne warunkujące życie, w których woda jest składnikiem rozrabiającym, a także ważnym reagentem. Woda pełni także rolę transportową, dostarczając składników niezbędnych do życia do komórek naszego ciała [1, 2].

Woda jest bezpośrednio spożywana przez nas jako składnik napojów oraz pożywienia. Ogólna zawartość wody w organizmie człowieka mieści się w przedziale 50–75% masy ciała. Obniżenie zawartości wody w organizmie o 20% może doprowadzić do śmierci [3].

Woda ma również podstawowe znaczenie w medycynie i kosmetyce. Jest jedną z elementarnych substancji stanowiących bazę do produkcji kosmetyków i leków. Wraz z rozpuszczonymi w niej składnikami aktywnymi ma zastosowanie przy wielu zabiegach medycznych, higienicznych i kosmetycznych. Przy czym każde z wyżej wymienionych zastosowań nakłada na użytkownika wody obowiązek zapewnienia jej czystości, właściwej dla danego zastosowania. Dlatego też należy pamiętać, że w potocznym znaczeniu „woda” oznacza ciecz powszechnie dostępną, o składzie chemicznym i właściwościach znacznie odbiegających od wody destylowanej i może zawierać cały szereg rozpuszczonych związków mineralnych, nieorganicznych, a także organicznych [4].

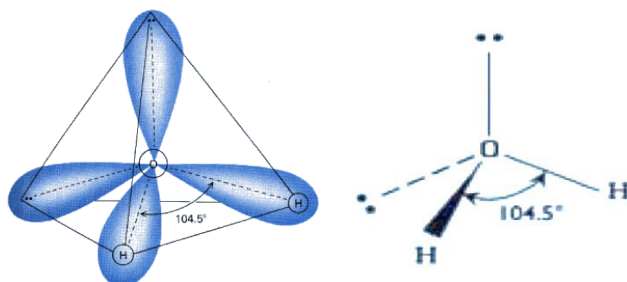
Struktura i właściwości fizykochemiczne wody

Cząsteczka wody

Cząsteczka wody (H_2O) składa się z jednego atomu tlenu i dwóch atomów wodoru połączonych polarnym wiązaniem kowalencyjnym. Właściwości fizyczne i chemiczne wody są inne niż związków o podobnej prostej strukturze np. HF lub H_2S . Geometrię cząsteczki wody narzuca kształt orbitali zewnętrznych elektronów atomu tlenu. Jej budowę najlepiej oddaje nieregularny czworościan z atomem tlenu w środku. Dwa wiązania atomu tlenu z atomami wodoru są skierowane w stronę dwóch naroży czworościanu, a niepodzielne

pary elektronów na zhybryzowanych orbitalach sp^3 w stronę dwóch pozostałych. Kąt między wiązaniami kowalencyjnymi dwóch atomów wodoru z tlenem wynosi $104,5^\circ$ i jest nieznacznie mniejszy od kąta w czworobłacie idealnym ($109,5^\circ$). Przestrzenną konfigurację cząsteczki wody zaproponował Bjerrum w 1952 roku i przedstawił ją jako czworobłacie regularne (ryc. 1) [5].

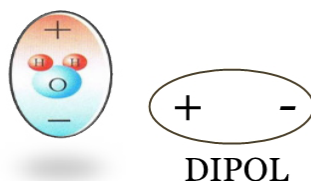
Rycina 1. Przestrzenna struktura H_2O



Źródło: http://www.woda_wiazania_wodorowe.republika.pl/2.html

Cząsteczka wody jest elektrycznie obojętna (ma taką samą liczbę elektronów i protonów) oraz polarna, ponieważ podział elektronów tworzących wiązanie kowalencyjne między atomem O i H jest asymetryczny. Wskutek kątovej budowy wody ładunki ujemne skupione przy atomie tlenu oddalone są od ładunków dodatnich zlokalizowanych przy atomach wodoru, co przedstawiono na rycinie 2. Zatem w cząsteczce wody powstają dwa dipole elektryczne wzdłuż każdego z wiązań H–O. Atom tlenu uzyskuje częściowy ładunek ujemny, a każdy z atomów wodoru częściowy ładunek dodatni [6].

Rycina 2. Biegunowa budowa cząsteczki wody

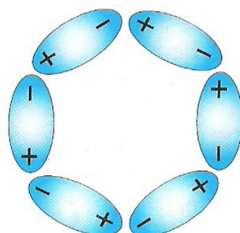


Źródło: <http://kartka-zeszytu.blog.onet.pl/2011/01/04/chemia-woda-jako-rozpuszczalnik/>

W fazie gazowej cząsteczki wody istnieją oddzielnie jedna od drugiej, natomiast w stanie ciekłym oraz stałym dipolowa budowa cząsteczek wody i zdolność do tworzenia wiązań wodorowych sprzyja ich wzajemnemu łączeniu się w uporządkowane układy,

zaczynają tworzyć się aglomeraty, następuje tzw. asocjacja. W wyniku dużego spolaryzowania, cząsteczki wody wzajemnie na siebie oddziałują, jak zaprezentowano na rycinie 3. Każdy z atomów tlenu jest zdolny do utworzenia dwóch wiązań wodorowych przez swoje dwie wolne pary elektronowe. Dipolarna cząsteczka wody może być zarówno donorem, jak i akceptorem protonów. Wiązania wodorowe tworzą się więc między cząsteczkami wody, jak i z grupami funkcyjnymi wielu różnych związków chemicznych.

Rycina 3. Schemat asocjacji cząsteczek biegunowych



Źródło: <http://slideplayer.pl/slide/433071/>

Właściwości fizykochemiczne wody

W porównaniu z innymi cieczami woda i roztwory wodne mają unikatowe właściwości fizykochemiczne, termodynamiczne i transportowe, które istotnie zależą od temperatury i ciśnienia. Dobrze znanymi anomaliami czystej ciekłej wody są: ujemna objętość topnienia, maksymalna gęstość w temperaturze 4°C, minimalna ściśliwość izotermiczna w 46°C, bardzo duże ciepło topnienia i wrzenia oraz wysoka temperatura krytyczna, duże ciepło parowania, duża pojemność cieplna przy stałym ciśnieniu, duża stała dielektryczna i lepkość malejąca ze wzrostem ciśnienia [3, 7]. Najważniejsze właściwości fizyczne wody przedstawiono w tabeli 1.

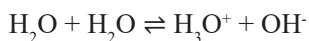
Tabela 1. Właściwości fizyczne wody

lp.	Właściwości wody	Wartość parametru i jednostka
1.	Temperatura topnienia	0°C
2.	Temperatura wrzenia	100°C
3.	Moment dipolowy	D=1,86
4.	Gęstość w 20°C	0,996 g/cm ³
5.	Ciepło właściwe	4 kJ/mol
6.	Ciepło parowania	2260 kJ/mol
7.	Ciepło topnienia	333 kJ/mol
8.	Napięcie powierzchniowe	7,2*10 ⁻² N/m

Źródło: Opracowanie własne na podstawie literatury [3]

Wymienione właściwości wynikają ze spójności ciekłej wody, zwanej kohezją, spowodowanej silnym oddziaływaniem między cząsteczkami H_2O przez sieć wiązań wodorowych. Cząsteczki wody przylegają również do powierzchni tych substancji, na których występują grupy polarne lub zjonizowane. Działające w tym przypadku siły adhezji tłumaczą zdolności zwilżające wody. Siły adhezji i kohezji wpływają na zjawiska kapilarne polegające na podnoszeniu się wody w rurkach o małej średnicy. Zjawisko to ma ogromne znaczenie w biologii, bowiem jest wykorzystywane przez rośliny jako sposób transportu substancji odżywczych od korzeni do liści w procesie transpiracji [8].

Rozpatrując właściwości wody, należy uwzględnić jej skłonność do nieznacznej jonizacji. W czystej wodzie, nie zawierającej ani kwasów, ani zasad, woda ulega autodysocjacji w małym stopniu według równania:

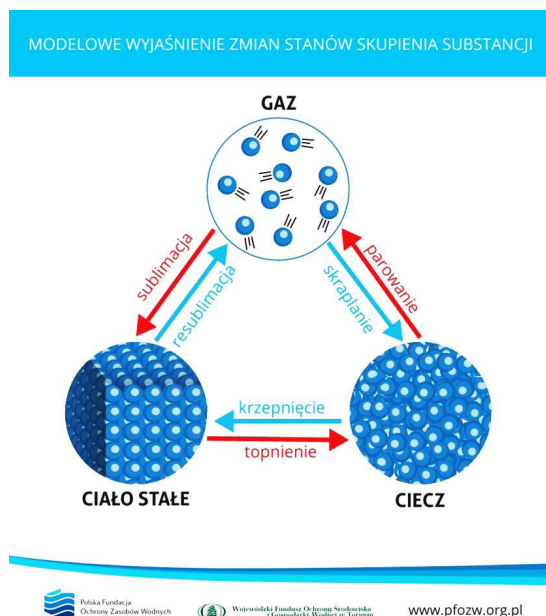


W roztworach obojętnych liczba jonów oksoniowych (H_3O^+) jest równa liczbie jonów hydroksylowych (OH^-). Woda może więc działać jako bardzo słaby kwas, uwalniając proton i tworząc jon hydroksylowy lub jako bardzo słaba zasada, akceptując proton i tworząc jon oksoniowy [9].

Woda, jako jedyna substancja w przyrodzie, występuje w trzech stanach skupienia – stałym (jako lód), ciekłym oraz gazowym (para wodna w powietrzu). W stanie pary odległości między cząsteczkami wody są znaczne, a siły przyciągania znikome. Cząsteczki mają więc swobodę wykonywania ruchów postępowych. W fazie ciekłej cząsteczki wody ulokowane są bliżej siebie niż w fazie gazowej. Oddziaływania między nimi są większe. Mogą zmieniać położenie względem siebie, ale tylko w określonych granicach. Z tego względu ciecze łatwo zmieniają kształt, a trudniej objętość. W lodzie cząsteczki wody są umiejscowione sztywno w węzłach sieci krystalicznej. Wykazują zdolność jedynie do wykonywania ruchów drgających i ewentualnej wędrówki po defektach sieci [10].

Zmiany temperatury i ciśnienia powodują, że woda może zmieniać swoje stany skupienia. Lód po ogrzaniu do określonej temperatury topi się. Przemiana fazy ciekłej w parę nosi nazwę parowania, jeśli zachodzi na powierzchni swobodnej cieczy. Gdy odbywa się w całej objętości cieczy, jest to wrzenie. Przemiana fazy stałej w parę nazywana jest sublimacją, pary w ciecz – skraplaniem (kondensacją), a cieczy w ciało stałe – krzepnięciem lub krystalizacją. Wszystkim przemianom fazowym towarzyszy wydzielanie lub pochłanianie ciepła w zależności od kierunku przemiany [11, 12]. Modelowe wyjaśnienie zmian stanów skupienia przedstawiono na rycinie 4.

Rycina 4. Stany skupienia wody



Źródło: <http://www.pfozw.org.pl/zrodlo-wiedzy/w-budowie/>

Woda jako rozpuszczalnik

Wiele parametrów charakteryzujących cząsteczki, takich jak: struktura molekularna, elektronowa i przestrzenna, rozmiary, jonizacja, ma wpływ na oddziaływanie między substancją rozpuszczaną a rozpuszczalnikiem. O właściwościach wody jako rozpuszczalnika decyduje polarna natura jej cząsteczek oraz zdolność do tworzenia wiązań wodorowych. Woda jest dobrym rozpuszczalnikiem dla związków polarnych i zjonizowanych, a nieodpowiednim dla węglowodorów. Związki, które chętnie rozpuszczają się w wodzie noszą nazwę hydrofilowych, a te które środowiska wodnego nie lubią – hydrofobowych [12].

Dodanie jakiegokolwiek substancji do wody powoduje zmianę właściwości tej substancji, jak również właściwości środowiska wodnego. Substancja rozpuszczona wymusza uporządkowanie cząsteczek wody, dlatego struktura wody w bezpośrednim sąsiedztwie cząsteczek substancji rozpuszczonej jest mniej labilna niż struktura pozostałej wody. Na skutek tego właściwości roztworów są inne niż właściwości czystej wody i zależą od natury substancji rozpuszczonej oraz jej stężenia. Różnice są widoczne w takich właściwościach jak: obniżenie punktu zamarzania, wzrost temperatury wrzenia i wzrost ciśnienia osmotycznego roztworów. Oddziaływanie cząsteczek wody z różnymi substancjami znane jest jako hydratacja. Podstawą procesu rozpuszczania i hydratacji substancji

zjonizowanych jest oddziaływanie między jonem i przeciwnie naładowanym biegunem dipolarnej cząsteczki wody [13].

Proste jony o znaczeniu biologicznym takie jak: Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} i Cl^- , w roztworach wodnych nie istnieją jako wolne. Każdy z nich jest otoczony trwałą powłoką zbudowaną z cząsteczek wody. Aby uzyskać trwałą powłokę hydratacyjną, jony muszą współzawodniczyć z cząsteczkami wody, gdyż cząsteczki starają się utworzyć między sobą maksymalną liczbę wiązań wodorowych. Woda jest dobrym rozpuszczalnikiem dla większości cząsteczek wchodzących w skład organizmów żywych, gdyż są one zazwyczaj polarne lub mają zjonizowane grupy funkcyjne [13].

Woda w układach biologicznych

Woda jako główny składnik ciała człowieka

Woda jest głównym składnikiem organizmu ludzkiego. Jej zawartość zmienia się wraz z wiekiem. W trzymiesięcznym płodzie znajduje się około 90%, u noworodka około 80%, a u dorosłego człowieka od 60 do nawet 75% wody. W przeciętnej żywej komórce woda stanowi około 70% masy i jest roztworem zawierającym dziesiątki tysięcy różnych substancji takich jak: jony nieorganiczne, związki organiczne o małej masie cząsteczkowej i rozpuszczalne makrocząsteczki. Jest zawiesiną zawierającą wiele nierozpuszczalnych biopolimerów i fazą graniczącą ze wszystkimi elementami strukturalnymi [14].

Woda występuje we wszystkich tkankach ludzkiego ustroju, chociaż jej rozmieszczenie w nich jest nierównomierne. Wyróżniamy trzy przestrzenie:

- intercelularną (wewnątrzkomórkową),
- ekstracelularną (pozakomórkową), do której zaliczana jest woda występująca w osoczu krwi i w cieczy śródkomórkowej,
- transcelularną, obejmującą zawartość przewodu pokarmowego.

Przestrzenie te nie są wyraźnie od siebie oddzielone. Istnieje między nimi stały przepływ dużych ilości cieczy np. pod postacią śliny, soku trzustkowego oraz soku żołądkowego. Do przewodu pokarmowego wlewa się dziennie około 8 dm³ cieczy (tabela 2) [10, 14–16].

Tabela 2. Zawartość wody w płynach i tkankach człowieka

I.p.	Organ, tkanka lub płyn ustrojowy	Zawartość wody [%]	Udział wody w masie człowieka
1.	Ślina	99,5	–
2.	Sok żołądkowy	97	–
3.	Limfa	96	–
4.	Mleko	89	–

Lp.	Organ, tkanka lub płyn ustrojowy	Zawartość wody [%]	Udział wody w masie człowieka
5.	Krew	79	7– 8
6.	Serce	79,3	2– 5
7.	Jelita	77	3
8.	Mięśnie	76	50
9.	Skóra	70	2
10.	Chrząstka	55	–
11.	Tłuszcz	30	12
12.	Szkielet	22	10

Źródło: Opracowanie własne na podstawie literatury [10]

Woda jest niezbędna dla podtrzymywania wszystkich procesów biologicznych. Bierze udział w procesie wchłaniania pożywienia z jelit oraz w odżywianiu komórek. W czasie trawienia pokarmy doprowadzane są do stanu umożliwiającego rozpuszczenie ich w wodzie i rozłożone na drobne cząstki przenikają przez ścianki jelit do krwi i płynu śródkomórkowego, a stamtąd dalej do komórek. Woda w organizmie jest przenośnikiem oraz regulatorem ciepła. Pochłania jego nadwyżki i wydala je w czasie parowania przez skórę i drogami oddechowymi. Uczestniczy we wszystkich reakcjach biochemicznych, zwilża błony śluzowe, gałkę oczną oraz zapewnia ruchliwość stawów. Dorosły człowiek jest w stanie przeżyć bez jedzenia ponad miesiąc. Bez wody zaledwie kilka dni. Jej niedostateczna ilość doprowadza do szybkiego odwodnienia organizmu. Niedobór wody, który wynosi około 10% masy ciała, powoduje niewydolność fizyczną i psychiczną, a utrata 20% może doprowadzić nawet do śmierci [16].

Dzienne zapotrzebowanie dorosłego człowieka wynosi średnio 2,5 litra wody. Oznacza to wymianę w ciągu doby od 3% do 6% wody ustrojowej. Całkowita zawartość wody, która znajduje się w naszym organizmie wymieniana jest w ciągu 20 dni. Ilość wody potrzebna do uzupełnienia bilansu wodnego zależy od wielu czynników. Przede wszystkim od wieku, aktywności fizycznej, wilgotności powietrza oraz temperatury otoczenia. Niedobór wody widoczny jest już po kilkunastu godzinach. Powoduje gorsze ukrwienie mózgu, przez co spada zdolność koncentracji, występują zaburzenia koordynacji ruchów i pamięci, dokuczają uporczywe bóle głowy oraz pojawiają się kłopoty z sercem i trawieniem. U człowieka odwodnionego w całym organizmie następuje wysychanie błon śluzowych, które przestają być naturalną barierą ochronną przeciw bakteriom i wirusom. Brak wody w organizmie powoduje również spadek odporności na choroby [17].

W wyniku procesów fizjologicznych w ciągu dnia tracimy od 2 do 3 litrów wody. Taką samą ilość tego płynu powinniśmy uzupełnić dla dobrego samopoczucia. Organizm ludzki potrafi przyswoić wodę z produktów spożywczych takich jak: warzywa, owoce czy mięso, ale resztę, ponad 1,5 litra, muszą stanowić płyny. Istotne jest to, aby nie były to słodzone

napoje, kawa czy herbata, ale świeże soki, a najlepiej woda. Ważna jest też jakość wody, którą pijemy. Wody mineralne zawierają jony niezbędne do życia. Najważniejsze z nich to: wapń, magnez, potas oraz sód. Wapń wzmacnia kości, ale w nadmiarze może zwiększać ryzyko kamicy żółciowej lub nerkowej. Magnez jest „pierwiastkiem życia” niezbędnym dla prawidłowego funkcjonowania układu nerwowego, mięśni oraz serca. Potas bierze udział we wspomaganiu pracy serca i układu krążenia mózgowego. Sód reguluje przepływ wody z krwi do tkanek i z powrotem [18].

Woda w żywności

Woda jest podstawowym elementem pożywienia. Zarówno surowce, jak i gotowe produkty żywnościowe z reguły zawierają duże ilości wody. Jest ona jednym z głównych czynników wpływających na intensywność procesów biochemicznych, chemicznych i fizycznych oraz tych, które decydują o rozwoju drobnoustrojów. Właściwa ilość wody, charakterystyczna dla danego produktu, decyduje o konsystencji, wyglądzie i smaku żywności oraz jej podatności na zepsucie. Większość sposobów konserwowania żywności polega na zmniejszeniu zawartości wody lub zmianie jej właściwości [19].

W materiale żywnościowym woda jest utrzymywana przez różne mechanizmy fizyczne i chemiczne. Podział wody zawartej w żywności, na wodę wolną i związaną, jest wygodnym uproszczeniem.

Istnieje wiele różnych definicji wody związanej. Jedne biorą pod uwagę temperaturę zamarzania, inne dostępność wody jako rozpuszczalnika. Fennema przedstawił najwłaściwszą definicję: woda związana to ta, która jest zlokalizowana w bezpośrednim sąsiedztwie substancji rozpuszczonych lub zawieszonych, ma zmniejszoną aktywność, odmienne właściwości od pozostałej masy wody zawartej w danym materiale i nie zamarza do temperatury -40°C . Definicja ta ma dwie zalety. Po pierwsze umożliwia wyodrębnienie wody związanej jako frakcji całkowitej ilości wody w danym materiale. Po drugie umożliwia ilościowe oznaczenie, gdyż wodę niezamrożoną w temperaturze -40°C można zmierzyć z zadowalającą dokładnością np. metodą NMR lub kalorymetrycznie [20].

Najczęściej wyróżnia się następujące rodzaje wody w żywności:

- **woda strukturalna** (krystaliczna, związana chemicznie) ($<0,03\%$) jest integralną częścią składników niewodnych, ulokowana w wolnych przestrzeniach makrocząsteczek lub związana w postaci wodnianów,
- **woda związana w postaci monowarstwy** (0,1–0,9%) silnie oddziałuje z grupami polarnymi i zjonizowanymi składników niewodnych,
- **woda związana w dalszych kilku warstwach** (1–5%) o strukturze uporządkowanej wokół hydrofilowych grup składników niewodnych, stabilizowana wiązaniami

wodorowymi utworzonymi między tymi grupami a wodą oraz między cząsteczkami samej wody,

- **woda wolna** (niezwiązana) (5–96%) o właściwościach zbliżonych do właściwości wody w rozcieńczonych roztworach soli, powiązana siecią wzajemnych wiązań wodorowych, ruchliwa,
- **woda uwięziona** (5–96%) o właściwościach wody wolnej, ale uwięziona w niewypełnionych przestrzeniach składników strukturalnych lub w żelach, przez co jej przepływ jest utrudniony.

Stopień związania wpływa na ruchliwość cząsteczek wody, im silniejsze związanie, tym mniejsza szybkość, z jaką cząsteczki zamieniają się miejscami. Cząsteczki wody związanej nigdy nie są całkowicie nieruchome. Sposób związania może się zmieniać wraz z zawartością wody. W sensie praktycznym wiązanie oznacza zdolność żywności do trwałego utrzymywania wody w czasie obróbki i przechowywania [20].

Zrozumienie właściwości wody w żywności prowadzi do wytwarzania produktów żywnościowych o lepszych właściwościach i do zwiększenia ich asortymentu. Wiązanie wody stało się szczególnie ważnym zagadnieniem w produkcji żywności o obniżonej zawartości tłuszczu i o średniej zawartości wilgoci – IMF (*Intermediate Moisture Foods*). Asortyment tej żywności obejmuje najrozmaitsze produkty żywnościowe (przetwory mięsne, mleczne, wyroby cukiernicze) o zmodyfikowanej wartości energetycznej i odżywczej oraz specyficznych cechach sensorycznych.

Usunięcie tłuszczu spełniającego rolę emulgatora zakłóca równowagę między składnikami typowej żywności i powoduje destabilizację fazy wodnej. Zmiana proporcji wody wolnej i związanej lub zwiększenie zawartości wody zmienia charakterystykę wzrostu drobnoustrojów, a także różne parametry decydujące o jakości, trwałości i wartości ekonomicznej żywności. W celu zapewnienia odpowiedniej równowagi wodnej na miejsce tłuszczu wprowadza się różne substancje wypełniające, które gwarantują optymalne wiązanie wody. Wypełniacze są bardzo różne i w miarę zwiększania się asortymentu żywności o małej zawartości tłuszczu, jest ich coraz więcej. Na zdolność zatrzymywania wody w żelach białkowych mają wpływ sole mineralne zawierające wapń, sód, potas, fosfor. Wypełnienie termotrwałe w niektórych asortymentach żywności pieczonej (ciastka, suche przekąski) zawierającej poniżej 15% tłuszczu stanowi celuloza preparowana (Avicel) o silnie rozwiniętej powierzchni. W produkcji serów niskotłuszczowych wypełniaczem jest skrobia poddana odpowiedniej obróbce. Gluten, białko pszenicy, wpływa niekorzystnie na jakość ciast o małej zawartości tłuszczu, powodując ich gumowatość i twardość. Stosuje się więc specjalne technologie utrudniające adsorpcję wody przez gluten lub inne rodzaje mąki (żytnia, kukurydziana, ryżowa) [21].

Tak więc w produkcji żywności niskotłuszczowej wykorzystuje się wiele znanych substancji (skrobia, włókna celulozowe, całe owoce, warzywa lub ziarna) charakteryzujących się zdolnością wiązania wody i utrzymywania jej w specyficznej formie. Najpopularniejszymi produktami tego typu są: pasta winogronowa, koncentrat jabłkowy lub z owoców cytrusowych, koncentraty z owoców kiwi, otręby i kielki zbożowe. Wszystkie one zawierają wiele oddziałujących z wodą związków takich jak: glukoza, fruktoza, skrobia, pektyny, włókna celulozowe, β -glukan i inne. Ponieważ każdy z produktów jest wieloskładnikowy, trudno ocenić, czy za polepszone wiązanie wody odpowiada jeden składnik, czy też jest potrzebne współdziałanie kilku z nich.

Woda w środowisku

Podstawowym źródłem wody w przyrodzie są **wody powierzchniowe**, czyli np. jeziora i rzeki. Woda z tych źródeł lub z ujęć głębinowych jest częściowo oczyszczana w zakładach uzdatniania wody, skąd trafia do sieci wodociągowej. Proces oczyszczania jest kilkuetapowy, polega między innymi na usunięciu cząstek stałych np. piasku w procesie sedymentacji, usunięciu trudno opadających zawiesin na drodze koagulacji i filtracji, poddaniu także dezynfekcji w celu likwidacji skażenia bakteryjnego. Metody te nie zapewniają jednak usunięcia substancji rozpuszczonych w wodzie. Tylko niektóre zakłady uzdatniania wody stosują dodatkowo filtrację z udziałem węgla aktywnego, który ma zdolność częściowej redukcji zawartości niepożądanych związków organicznych. Uzdatniona woda wodociągowa, pomimo tego, że jest bezbarwna i klarowna, może w dalszym ciągu zawierać zanieczyszczenia [22].

Woda wodociągowa w dużym stopniu odzwierciedla skład wody powierzchniowej lub podziemnej, z której pochodzi. Może zawierać znaczną ilość naturalnych soli mineralnych (nieorganicznych), a także inne substancje pochodzące z działalności człowieka. W wodzie wodociągowej, z której korzystamy na co dzień, mogą być obecne niewielkie ilości związków organicznych stanowiących zanieczyszczenia środowiska, w tym: węglowodory z ropy naftowej i paliw, detergenty, produkty rozkładu tworzyw sztucznych, rozpuszczalniki, a także substancje szczególnie niebezpieczne dla zdrowia człowieka takie jak: środki ochrony roślin, czy też wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Spośród jonów nieorganicznych najbardziej szkodliwe są kationy ołowiu Pb^{2+} , kadmu Cd^{2+} , i rtęci Hg^{2+} . Wiele innych kationów metali, nawet tych zaliczanych do tzw. mikroelementów, w większych ilościach może wykazywać działanie szkodliwe. Do jonów nieorganicznych pochodzenia naturalnego zaliczamy głównie następujące aniony: chlorkowy Cl^- , siarczanowy (VI) SO_4^{2-} , wodorowęglanowy HCO_3^- , krzemianowy SiO_3^{2-} oraz kationy: sodu Na^+ , potasu K^+ , wapnia Ca^{2+} , magnezu Mg^{2+} , żelaza (II) Fe^{2+} , żelaza (III) Fe^{3+} , manganu (II) Mn^{2+} . Dodatkowo pomimo wcześniejszej dezynfekcji,

w wyniku długotrwałego transportu wody rurociągami, w wodzie mogą pojawić się bakterie, grzyby i wirusy. Wprawdzie woda wodociągowa w większości miast Polski nadaje się do picia nawet bez przegotowania, jednak taki stopień czystości jest niewystarczający dla wielu zastosowań m.in. dla przemysłu farmaceutycznego i kosmetycznego [1, 22].

Woda morska i oceaniczna zawiera duże ilości związków mineralnych – najwięcej chlorku sodu NaCl (średnio 3,56%). Bałtyk jest mało zasolony (0,85%), natomiast w Morzu Martwym znajduje się 25,6% soli. Opady atmosferyczne (deszcz), to woda destylowana z małą domieszką kwasu azotowego (III) HNO_2 i (V) HNO_3 , które powstają podczas wyładowań elektrycznych (pioruny) w powietrzu ($\text{O}_2 + \text{N}_2$), oraz kwasu siarkowego (IV) H_2SO_3 i (VI) H_2SO_4 , jakie powstają na skutek emisji do atmosfery tlenków siarki produkowanych przez przemysł oraz wulkany [4].

Powierzchniowe i podziemne wody gruntowe łągają z ziemi i skał substancje mineralne oraz rozpuszczają ditlenek węgla – w ten sposób powstały wody mineralne, jurajskie i oligoceńskie.

Wody mineralne to wody, których skład chemiczny determinuje wpływ leczniczy oraz nazwę. Wyróżnia się:

- **szczawowy** – zawierają ditlenek węgla oraz wodorowęglany metali alkalicznych (sodu Na, potasu K) NaHCO_3 , KHCO_3 , które nadają wodzie charakterystyczny, kwaśny smak (popularne miejsca występowania: Szczawnica, Krynica, Karlove Vary, Ems, Vichy),
- **wody gorzkie** – zawierają siarczan (VI) magnezu MgSO_4 , nazwa zwyczajowa – sól gorzka (Morsztyn, Friedrichshall),
- **wody żelaziste** – zawierają wodorowęglan żelaza (II) $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, nadający wodzie charakterystyczny metaliczny posmak i czerwony kolor (miejsce występowania: Krynica, Nałęczów, Żegiestów, Pyrmont, Schwalbach, Griesbach, Steben, Nauheim, Spaa),
- **wody siarczane** – zawierają siarkowodór H_2S – gaz o nieprzyjemnym zapachu zepsutych jaj, który ma zbawienny wpływ na schorzenia skóry (Busko, Piszczany, Solec, Trenczyn, Baden, Aachen),
- **wody jodowo-bromowe** – zawierają brom Br i jod I – głównie w formie bromku sodu NaBr i jodku potasu KI (Goczałkowice, Iwonicz, Jastrzębie, Rabka, Rymanów, Hall),
- **solanki** – zawierają sól kuchenną (chlorek sodu NaCl) oraz mikro- i makroelementy, towarzyszące NaCl (Ciechocinek, Inowrocław, Kissingen, Wiesbaden, Salzingen),
- **wody termalne** – ciepłe lub gorące wody mineralne, zawierające pełne spektrum mikro- i makroelementów, łągodzą podrażnienia (Ciechocinek, Karlove Vary),

- **woda jurajska** – pochodzi z drugiego okresu ery mezozoicznej (155–130 milionów lat p.n.e.), natomiast **woda oligoceńska** – z trzeciej epoki kenozoicznej (40–28 milionów lat p.n.e.). Woda jurajska i woda oligoceńska nie zawierają toksyn, bowiem znajdują się w naturalnych, podziemnych zbiornikach wodnych – pozyskiwane z odwiertów głębinowych. Zawierają mikro- i makroelementy [4].

Woda naturalna często ma odczyn alkaliczny, a czasem lekko kwaśny. Zasadowy odczyn wody spowodowany jest głównie rozpuszczonym wodorowęglanem wapnia albo innymi związkami metali podstawowych. Kwasowość jest efektem występowania rozpuszczonego dwutlenku węgla lub kwasów organicznych pochodzących z ziemi torfowej. Siarczany przedostają się do wody z deszczu, który spada na obszary o zanieczyszczonym przez przemysł powietrzu. Procesy oczyszczania mogą powodować wzrost kwasowości wody. Nie ma przeciwwskazań do picia wody lekko kwaśnej, jednak preferowana jest woda o odczynie zasadowym. Woda oddana do użytku publicznego ma zazwyczaj pH ~ 7. Skażona bakteryjnie może przenosić choroby takie jak: cholera, tyfus, dur rzekomy, czerwonka bakteryjna oraz niezżyt żołądka i jelit. Choroby wirusowe przenoszone przez wodę to żółtaczką oraz rzadziej Heine–Medina. Schorzeniami biologicznymi z kolei są pasożyty takie jak: soliter i motylca wątrobowa oraz ameby [23].

Woda pitna

Jakość wody pitnej

Historii ludzkości towarzyszy poszukiwanie źródeł wody o wysokiej jakości. W dawnych czasach jakość wody decydowała o miejscu osiedlenia się ludzi, a gdy woda stawała się niezdatna do użytku porzucali oni miejsce zamieszkania i przemieszczali się tam, gdzie znaleźli dobrą wodę. Pierwsze udokumentowane informacje o uzdatnianiu wody pochodzą ze starożytnego Egiptu. Podstawy sposobów oczyszczania wody zapisane hieroglifami są następujące: gotowanie, traktowanie chemiczne oraz filtracja, czyli takie same jak stosowane obecnie. W dzisiejszych czasach uzdatnianie wody, szczególnie chlorowanie i filtrację, uznaje się za najważniejsze osiągnięcia XX wieku w ochronie zdrowia publicznego. Wprowadzenie chlorowania wody pitnej radykalnie zmniejszyło występowanie cholery, dyzenterii i duru brzuszego. Z upływem czasu mikrobiologiczne zanieczyszczenia wody stały się mniejszym zagrożeniem niż chemiczne. Jak już wspomniano, zanieczyszczenia chemiczne w wodzie pitnej mogą być pochodzenia organicznego bądź nieorganicznego, a ilość wykrywanych substancji wzrasta w postępie geometrycznym. Zanieczyszczenia wody pitnej pochodzą z różnych źródeł takich jak: ścieki miejskie i przemysłowe, zanieczyszczenie środowiska, rolnictwo, górnictwo,

naturalne formacje geologiczne, sieć wodociągowa, a także procesy uzdatniania. Badaniami epidemiologicznymi objęto: związki glinu i arsenu, ołów, radon, związki fluoru, siarczany, azotany, pestycydy, produkty uboczne dezynfekcji. Te zanieczyszczenia, obecne w wodzie pitnej, mogą być przyczyną wielu nowotworów, poronień, chorób układu sercowo–naczyniowego i schorzeń neurologicznych [21]. Jednakże wpływ większości substancji chemicznych wykrywanych w wodzie pitnej na zdrowie ludzi i innych istot żywych nie jest jeszcze poznany [21].

Jakość wody pitnej na całym świecie jest regulowana odpowiednimi przepisami prawnymi. W miarę rozwoju cywilizacji wymagania dotyczące jakości wody pitnej są coraz większe i ciągle ulegają zmianom, głównie z powodu zwiększania zanieczyszczeń wód powierzchniowych, które są podstawowym źródłem zaopatrzenia w wodę pitną. Wraz ze zwiększeniem zanieczyszczeń rośnie zagrożenie i ciągle wydłuża się lista substancji, które należy oznaczać i normować tak, aby woda pitna była bezpieczna dla zdrowia. Liczba i wartości dopuszczalnych stężeń substancji zanieczyszczających wodę różnią się w poszczególnych krajach, co jest związane z różnym stopniem zanieczyszczenia wód w różnych regionach świata, a także z technicznymi i ekonomicznymi możliwościami uzyskania wody o odpowiedniej jakości. Istnieją także zalecenia międzynarodowych organizacji takich jak: Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) lub Rada Unii Europejskiej. Standardy dotyczące jakości wody pitnej są ciągle doskonałe. Polskie przepisy były zmieniane 5-krotnie w ciągu ubiegłych 75 lat. Zmiany miały na celu poszerzenie zakresu normowanych wskaźników jakości wody i dostosowanie do aktualnego stanu wiedzy. Ostatnie przepisy pochodzą z 1990 roku (Rozporządzenie MZiOS z 4 maja 1990r. DzU Nr 35, poz. 205) i całkowicie odpowiadają zaleceniom WHO (tabela 3) [24].

Tabela 3. Dopuszczalne stężenia wybranych substancji w wodzie pitnej

L.p.	Wskaźnik	Jednostka	Wg przepisów Unii Europejskiej		Wg przepisów polskich największe dopuszczalne zawartości
			Wskaźniki zalecane	Wskaźniki maksymalne	
1.	Barwa	mg Pt/dm ³	1	20	20
2.	Mętność	mg SiO ₂ /dm ³	1	10	5
3.	Temperatura	°C	12	25	–
4.	Chlorki	mg/dm ³	25	–	300
5.	Siarczany	mg/dm ³	25	250	200
6.	Magnez	mg/dm ³	30	50	–
7.	Sód	mg/dm ³	20	175–150	200
8.	Glin	mg/dm ³	0,05	0,2	0,3

L.p.	Wskaźnik	Jednostka	Wg przepisów Unii Europejskiej		Wg przepisów polskich największe dopuszczalne zawartości
9.	Azotany(V)	mg N/dm ³	5	10	10
10.	Azotany(III)	mg N/dm ³	–	0,1	–
11.	Amoniak	mg N/dm ³	0,05	0,5	0,5
12.	Azot ogólny	mg N/dm ³	–	1	–
13.	Utlenianie	mg O ₂ /dm ³	2	5	–
14.	Żelazo	mg Fe/dm ³	0,05	0,2	0,5
15.	Mangan	mg Mn/dm ³	0,02	0,05	0,1
16.	Cynk	mg Zn/dm ³	0,1-0,3	1	–
17.	Kadm	mg Cd/dm ³	–	0,005	0,0055
18.	Ołów	mg Pb/dm ³	–	0,05	0,05

Źródło: Opracowanie własne na podstawie literatury [24]

Woda i ścieki w przemyśle żywnościowym

Ponieważ woda jest integralną częścią żywności, jakość i dostępność wody jest ważnym zagadnieniem w przemyśle spożywczym. Lokalizacja i sprawność obiektów przemysłu spożywczego zależy od zapewnienia regularnego zaopatrzenia w wodę odpowiedniej jakości. Woda pitna jest niezbędnym składnikiem dodawanym do żywności w procesach jej przetwarzania. Zapotrzebowanie na wodę niezdatną do picia jest również duże; ma ona zastosowanie w wymiennikach ciepła i jako woda chłodząca. Woda w obiegach zamkniętych, zwłaszcza w przypadku urządzeń grzewczych, musi mieć odpowiednie pH i twardość utrzymywane w ścisłych granicach.

Głównym problemem w neutralizacji ścieków przemysłu żywnościowego jest rozkład substancji organicznych. Ścieki z zakładów przetwórstwa mięsnego i rybnego zawierają duże ilości białka i tłuszczu, a ścieki z przemysłu cukrowniczego – sacharydy i polisacharydy. Substancje te, gdy przedostaną się do wód powierzchniowych lub gruntowych, stymulują wzrost roślin wodnych i drobnoustrojów. Nadmierny wzrost drobnoustrojów i bakteryjny rozkład roślin zużywa rozpuszczony w wodzie tlen, co powoduje wymieranie ryb i zahamowanie naturalnych tlenowych procesów samooczyszczania. Niedobór tlenu w wodzie prowadzi do zaniku życia [25].

Ścieki przemysłu żywnościowego mają biologiczne zapotrzebowanie na tlen 500–5000 mg/dm³, podczas gdy ścieki z gospodarstw domowych 200–400 mg/dm³. Oczyszczanie wód opadowych składa się z kilku etapów:

- **oczyszczanie wstępne** obejmuje usunięcie większych zanieczyszczeń stałych przez filtrowanie i sedymentację;
- **etap pierwszy** – odstawanie w zbiornikach w celu zebrania lekkich zanieczyszczeń unoszących się na powierzchni (tłuszcze, oleje) i osadzenia się większych

w postaci szlamu. Szlam jest rozkładany przez bakterie beztlenowe. Powstający metan jest cennym materiałem opałowym. Szlam można też odvodnić, wysuszyć i zużyć jako opał lub nawóz albo po odpowiednim uzdatnieniu jako pasze dla zwierząt. Woda po tym etapie oczyszczania zawiera substancje gnilne rozpuszczone lub zawieszane;

- **etap drugi** – oczyszczanie biologiczne przez bakterie tlenowe. W celu ułatwienia rozkładu, woda jest intensywnie napowietrzana lub wprowadza się do niej tlen. Pozostający szlam jest bogaty w substancje odżywcze. Masa bakteryjna osiada na dnie;
- **etap trzeci** – usunięcie bakterii, które są zawieszane w uzyskanej wodzie. Stosuje się odstawanie w płytkich napowietrzanych zbiornikach, filtrowanie przez warstwę piasku lub obie metody jednocześnie. Używa się także takich samych metod jak w przypadku uzdatniania wody;
- **etap czwarty** – usuwanie fosforanów, azotanów, amoniaku, soli oraz związków specyficznych, związanych z rodzajem produktów lub technologią przetwórstwa. Fosforany strąca się wapnem, azotany i amoniak mogą być przeprowadzone w wolny azot przez bakterie beztlenowe lub tlenowe. Czasami stosuje się sączenie przez węgiel aktywny lub wymienniki jonowe oraz chlorowanie.

Oczyszczanie jest kosztowne i większość oczyszczalni nie stosuje wszystkich wyżej wymienionych etapów.

Podsumowanie

Poznanie właściwości wody jest bardzo istotne [3]. Bez wody, związku dwóch pierwiastków – tlenu i wodoru, nie istniałoby żadne życie na naszej planecie oraz nie mogłoby funkcjonować żaden żywy organizm. Człowiek odwodniony ma wysuszone błony śluzowe, które przestają być naturalną ochroną dla bakterii i wirusów – spada więc odporność organizmu na choroby. Jednym z widocznych objawów procesu starzenia jest zmniejszenie stopnia uwodnienia skóry i wynikająca z tego zmniejszona jej sprężystość. Wiele osób nie pije wystarczającej ilości wody. Trudno jest określić zalecenia dotyczące jej spożycia. Musiałyby one uwzględniać różnice klimatyczne, miejsce zamieszkania oraz aktywność fizyczną. Dziennie około jedna trzecia wody przyjmowanej przez osoby dorosłe jest dostarczana w pożywieniu stałego; większość pochodzi z owoców i warzyw, zaś niewielka ilość – z chleba i produktów mlecznych [18].

Napoje, w tym woda, sok z wyciśniętych owoców, napoje alkoholowe i gazowane, herbata i kawa dostarczają około 62% przyjmowanej dziennie wody. Mleko, napoje mleczne i jogurty zapewniają nieco ponad 10% płynów przyjmowanych w ciągu dnia.

Pieczywo i produkty zbożowe w dziennej racji pokarmowej dostarczają 8% wody. Mięso, ryby, jaja i nasiona strączkowe dostarczają 2% przyjmowanej dziennie ilości wody. Owoce i warzywa stanowią źródło około 18% objętości wody przyjmowanej przez osoby dorosłe w ciągu dnia. Liście sałaty zawierają jej 95%, a arbuz – 99% [18].

Egzystencja ludzi i jakość ich życia są ściśle związane z dostępem do wody i żywności. Zawartość wody w żywności decyduje o jej trwałości, wpływa na możliwość rozwoju niebezpiecznej dla człowieka mikroflory. Ciągły wzrost populacji ludzi na świecie zwiększa zapotrzebowanie na świeżą wodę i ma ogromny wpływ na produkcję żywności.

Najlepszym sposobem zapobieżenia grożącym światu niedoborom wody i żywności jest opracowanie metod umożliwiających produkowanie większej ilości żywności przy istniejących zasobach wody i gleby oraz oszczędniejsze gospodarowanie wodą w przemyśle. Przemysł zużywa około ¼ dostępnej wody. Większość tej wody jest pobierana z publicznych wodociągów i odpowiada standardom jakości wody pitnej. Za trzydzieści lat większa część świata będzie cierpieła z powodu niedoboru wody pitnej. Rozdzielenie poboru wody dla potrzeb przemysłu i źródeł wody pitnej zwiększyłoby podaż tej drugiej i ułatwiło opanowanie problemów wynikających z niedoboru. Możliwe są również oszczędności przez zastosowanie powtórnego użycia wody przemysłowej. Jest to możliwe dzięki postępowi w technologiach oczyszczania. Nowe technologie obejmują: mikro-, ultra- i nanofiltrację, osmozę odwróconą oraz elektrolizę i dializę [23].

Bibliografia

1. Budzowski A., Gil R., Zięba K., *Chemia surowców kosmetycznych ćwiczenia laboratoryjne*. Krakowskie Towarzystwo Edukacyjne sp. z o.o. – Oficyna Wydawnicza AFM, Kraków 2014.
2. *Farmakopea Polska*, wyd. VIII. Warszawa 2008.
3. Sarbak Z., Jachymska–Sarbak B., Sarbak A., *Chemia w kosmetyce i kosmetologii*. MedPharm Polska, Wrocław 2013.
4. Molski M., *Chemia Piękna*. Wyższa Szkoła Zawodowa Pielęgnacji Zdrowia i Urody w Poznaniu, Poznań 2005.
5. Bjerrum N., *Structure and properties of ice*. Science 1952; 115 (2989): 385–390.
6. Lehninger A.L., Nelson D.L., Cox M.M., *Principles of Biochemistry*. Worth Publishers, New York 1993.
7. Starzak M., Mathlouthi M., *Cluster composition of liquid water derived from laser – Raman spectra and molecular simulation data*. Food Chemistry 2003; 82: 3–22.
8. Sikorski Z.E. (red.), *Chemia żywności. Składniki żywności*. WNT, Warszawa 2014.
9. Bielański A., *Chemia ogólna i nieorganiczna*. PWN, Warszawa 1976.

10. Gomółka E., Szaynok A., *Chemia wody i powietrza*. Wydawnictwo Żak, Wrocław 1997.
11. Luck W.A.P. (red.), *Structure of water and aqueous solutions*. Verlag Chemie, Weinheim 1974: 10–47.
12. Frank H.S., Wen W.Y., *Structural aspects of ion-solvent interaction in aqueous solutions: a suggested picture of water structure*. Disc. Faraday Soc. 1957; 24: 133–140.
13. Lewicki P.P., *Water as the determinant of food engineering properties. A review*. Journal of Food Engineering 2000; 31: 31–40.
14. Jurak P., *Chemik light, Cztery stany skupienia, Co kryje się w kropli?* Zakład Wydawniczy SITPChem Chempress, Gliwice 2010.
15. Wiśniewska A., Subczyński W.K., *Bariera hydrofobowa błon lipidowych. Wpływ cholesterolu i nienasyconych łańcuchów alkilowych na transport cząsteczek polarnych*. Postępy Biologii Komórki 1995; 22 (5): 59–72.
16. Wiggins Ph.M., *Role of water in some biological processes*. Microbiological Reviews 1990; 54: 432–449.
17. www.hydropure.com.pl [data dostępu: 06.10.2015]
18. McWhirter A., Clasen L., *Czy wiemy co jeść? Co pomaga, a co szkodzi*. The Reader's Digest Association Limited, London 1997.
19. Mathlouthi M., *Water content, water activity, water structure and the stability of food struffs*. Food Control 2001; 12: 409–417.
20. Fennema O.R., *Food Chemistry*. Marcel Dekker, New York 1996.
21. Calderon R.L., *The epidemiology of chemical contaminants of drinking water*. Food and Chemical Technology 2000; 38: 13–20.
22. Dziennik Urzędowy UE, 22.12.2009, L342/59-209.
23. Overman M., *Woda*. PWN, Warszawa 1977.
24. Rybicki A.S., *Obowiązujące w Polsce przepisy dotyczące wody do picia – ocena i propozycje doskonalenia*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 1993; 4: 92–93.
25. Henry F., Costa L.C., Serpelloni M., *Dielectric method of determination of a_w* . Food Chemistry 2003; 82: 73–77.