

nego, a ludzkość, chcąc przeżyć, nie stanie przed koniecznością całkowitej reorientacji na wegetarianizm.

Literatura: 1. Barszczewski J., Kaca E., Wojda R., 2010 – Warunki środowiskowe oraz wyniki produkcyjne w ekologicznym oraz konwencjonalnym chowie karpia. *J. Res. Appl. Agricult. Eng.* 55 (3), 14-19. 2. EEA, 2009 – Report. Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought. 2, ss. 60. 3. EEA, 2015 – Środowisko Europy 2015 – Stan i prognozy: Synteza. Europejska Agencja Środowiska, Kopenhaga. 4. FAO, 2013 – The state of food and agriculture. 5. FAO, 2014 – The State of World Fisheries and Aquaculture Opportunities and Challenges. 6. FAO, 2015 – Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Service. 7. Herbut E., Walczak J., 2015 – Polska produkcja zwierzęca a Wspólna Polityka Rolna. *Wiad. Zootech., R. LIII*, 4, 109-120. 8. Hryszko K., Kuzebski E., Lirski A., 2014 – Sytuacja na światowym rynku ryb i jej wpływ na rozwój sektora rybnego w Polsce 2014. IERiGŻ – PIB, ss. 132. 9. IPCC, 2007 – Climate Change 2007: Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland, ss. 104. 10. Kaca E., Łabędzki L., Lubbe I., 2011 – Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu ekstremalnych zjawisk pogodowych. *Postępy Nauk Rol.* 1, 37-49. 11. Kępska D., Olejnik Ł., 2014 – Algi – przyszłość z morza. *Chemicz. 68*, 11, 967-972. 12. Kindler J., 2014 – Zasoby wodne dziś i jutro a perspektywy wyżywienia świata. W: *Czy kryzys światowych zasobów?* (red. B. Galwas, B. Wyżnikiewicz). Wyd. Komitet Prognoz „Polska 2000 Plus”, PAN, Warszawa, 199-211. 13. Kuczyński W., Żuchowicki W., 2010 – Ocena aktualnej sytuacji w zaopatrzeniu w wodę w Polsce na tle sytuacji w świecie. *Rocznik Ochrona Środowiska, Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska*, 12, 419-465. 14. Kundzewicz Z.W., Juda-Rezler K., 2010 – Zagrożenia związane ze zmianami klimatu. *Nauka* 4, 69-76. 15. Kundzewicz Z.W., Zalewski

M., Kędziora A., Pierzgański E., 2010 – Zagrożenia związane z wodą. *Nauka* 4, 87-96. 16. Kwasek M., 2013 – Tendencje w spożyciu mięsa na świecie. *Roczniki Ekonomiczne Kujawsko-Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy* 6, 265-284. 17. Łukaszuk L., 2007 – Akwakultura i nowe problemy ochrony środowiska morskiego – z międzynarodowej perspektywy. *Studia Ecologiae et Bioethicae* 5, 193-207. 18. Małecki Z.J., Gołębiak P., 2012 – Zasoby wodne Polski i świata. *Zeszyty Naukowe Inżynieria Łądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska* 7, 50-56. 19. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2015 – Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water. *Environ. Sci. Technol.* 49 (21), 12860-12868. 20. Mioduszeński W., 2006 – Woda wirtualna – woda do produkcji żywności. *Gosp. Wodna* 5, 173-178. 21. OECD, 2008 – Raport. Wpływ rolnictwa na środowisko naturalne od 1990 r. Polska Sekcja poświęcona krajowi, ss. 21. 22. Stępniewska M., 2014 – Ile wody naprawdę zużywamy? Ocena śladu wodnego Polaków związanego z konsumpcją żywności. *Gosp. Wodna* 9, 321-324. 23. Strategia Rozwoju Zrównoważonej Akwakultury Intensywnej – 2020, 2013 – Stowarzyszenie Producentów Ryb Łososiowatych – SPRŁ 2013, Łębork, ss. 189. 24. Thier A., 2015 – Aksjologiczne, ekonomiczne i społeczne problemy gospodarki wodnej. *Ekonomia i Środowisko* 3 (54), 10-24. 25. UNDP, 2006 – Raport o Rozwoju Społecznym. Streszczenie. 26. UNEP „GEO-4”, 2007 – Global Environment Outlook GEO environment for development 4. Valetta. 27. United Nations World Report Development, 2009 – Report 3: Water in a Changing World. Paris: UNESCO. 28. Water for People Water for Life, Executive Summary 2003 – Materiał przygotowany przez Ośrodek Informacji ONZ. 29. World Economic Forum. Global Risks, 2015 – 10th Edition. Geneva. 30. WWAP, 2009 – World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report. 31. www.klimada.gos.pl

Funkcje i wykorzystanie wody w produkcji podstawowej i przetwórstwie żywności pochodzenia zwierzęcego

Mariusz Florek

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Dla człowieka nie ma takiej drugiej substancji na świecie jak woda. Jest zmienna i nieposkromiona, czczona i przeklinana, ma wielką wartość – ale jest nisko ceniona (i przy tym niechętnie), nie istnieje również jej substytut. Niektóre właściwości wody nawet współcześnie nie są do końca zrozumiałe, a wiele spośród jej nietypowych własności ma fundamentalne znaczenie dla życia na Ziemi. Termin woda (jako nazwa związku chemicznego) odnosi się do każdego jej stanu skupienia, tzn. ciekłego w warunkach standardowych, pary wodnej w stanie gazowym, lodu w stanie stałym. Woda (H_2O , tlenek wodoru, oksydan) jest jedną z najpowszechniej występujących substancji we Wszechświecie (wraz z wodorem cząsteczkowym i tlenkiem węgla), w tym w Układzie Słonecznym i oczywiście na Ziemi. Z powodu mórz i oceanów, które pokrywają prawie 3/4 powierzchni naszego globu, Ziemia nazywana jest błękitną planetą. Większość wody na Ziemi jest słona, a tylko 3% jej zasobów stanowi woda słodka, której 70% uwięzione jest w lodowcach. Oznacza

to, że słodka woda dostępna do picia to zaledwie 1% światowych zasobów wodnych. Masa oceanów na Ziemi szacowana jest na ok. 0,02% całkowitej masy planety [23]. Wyniki badań wskazują również na istnienie rozległej strefy w płaszczu ziemskim bogatej w wodę [36]. Według Murakami i wsp. [23] minerały dolnego płaszczu Ziemi mogą zawierać 0,2% wagowych wody, tym samym objętość wody zgromadzona w tej strefie płaszczu może być 5 razy większa niż w oceanach. Taka ilość wody jest porównywalna do zgromadzonej w strefie przejściowej skorupy ziemskiej (ok. 6 razy więcej niż oceany) [36].

Woda stanowi bardzo złożone bogactwo, a w przeciwieństwie do statycznego zasobu jakim są łądy, jej obieg na Ziemi tworzy bardzo dynamiczny cykl złożony z opadów (np. deszcz, śnieg), cieków i zbiorników wodnych oraz parowania. Przeciętna ilość wody deszczowej na świecie wynosi 110 000 km³ rocznie. Około 1/3 z tej ilości przedostaje się do warstw wodonośnych, rzek i jezior, z czego jedynie ok. 12 000 km³ wody może być wykorzystana bezpośrednio przez ludzi. Aktualnie pobór wody dla miast, przemysłu i rolnictwa stanowi nie więcej niż 10% zasobów wody powierzchniowej i gruntowej. Pozostałe 2/3 tworzy wilgoć glebową lub wraca do atmosfery (na drodze ewaporacji z gleby i transpiracji roślin) [32]. Ogromne fluktuacje przestrzenne i czasowe wody, jak również zmienna jej jakość, całkowicie reorientuje jej wartość dla ludzi i ekosystemów. Jest oczywiste, że woda może zagrażać (jako powódź), jak również ratować życie (na obszarach pustynnych), jakkolwiek obie te sytuacje bardzo rzadko występują w jednym miejscu w okresie jednego roku [26].

Jako fundamentalne źródło życia, woda jest kluczowym czynnikiem rozwoju ludzkości i stanowi centralny problem do rozwiązania dla międzynarodowej społeczności w przyszłości. Aktualnie „ograniczona ilość (lub niedostatek)” jest jednym z przymiot-

ników najczęściej łączonych ze słowem „woda”. Wiele obszarów na świecie osiągnęło już krytyczny poziom i należy je traktować jako tereny o ograniczonych zasobach wodnych [19].

Dostępność zasobów słodkiej wody, odpowiednia zarówno pod względem ilości, jak i jakości, jest kluczowa dla bezpieczeństwa żywnościowego i niezbędna w produkcji żywności, począwszy od etapu początkowego (produkcja pierwotna/podstawowa) do nawadniania, czy pojenia zwierząt, aż do przetwarzania (jako składnik, medium transportu i środek higieny) [18]. Produkcja podstawowa oznacza produkcję, uprawę lub hodowlę produktów podstawowych, w tym: zbiory, dojenie, hodowlę zwierząt gospodarskich przed ubojem, łowiectwo i rybołówstwo, zbieranie runa leśnego bez znaczącej zmiany ich charakteru [29]. Zwierzętom gospodarskim i fermowym należy zapewnić stały dostęp do wody (np. konie poi się co najmniej trzy razy dziennie), a urządzenie do pojenia instaluje się w sposób zabezpieczający wodę przed wylewaniem się [27].

Konieczność określenia ilości wody potrzebnej do produkcji różnych dóbr (w tym żywności) wynika z faktu, że rezerwy świeżej wody są z jednej strony ograniczone, a z drugiej niezbędne do przetrwania życia na Ziemi. Od zasobów wody uzależniony jest także rozwój przyszłych pokoleń ludzi [16]. Według IV Raportu Międzyrządowego Panelu Zmian Klimatycznych (the Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), kluczowymi czynnikami zwiększenia niedostatku wody są: zmiany klimatyczne, wzrost populacji w przyszłości, zmiany ekonomiczne i zmiany wykorzystania ziemi (gruntów rolniczych) [2]. Szacuje się, że rolnictwo (wspólnie sektor roślinny i zwierzęcy) jest obecnie odpowiedzialne za 70% globalnego wykorzystania wody słodkiej [25], a łącznie z leśnictwem zajmuje 60% powierzchni lądowej Ziemi [9]. Blisko 1/3 ilości wody związana jest z produkcją zwierzęcą, w tym 30% wykorzystuje się w chowie bydła mięsnego [22].

Spośród kilku dostępnych wskaźników szacujących zapotrzebowanie na wodę w cyklach produkcyjnych, stosunkowo łatwy do obliczenia i wyrażenia jest ślad wodny (WF – water footprint). Wskaźnik ten jest ściśle związany z pojęciem wody wirtualnej, tj. wody zużytej lub zanieczyszczonej, z uwzględnieniem pełnego łańcucha procesu produkcji danego produktu lub usługi. Na podstawie ilości wody niezbędnej do ich wyprodukowania (uwzględniając bezpośrednie i pośrednie zużycie wody przez produkt), pozwala on porównać różne produkty i usługi [16]. Na ślad wodny składają się 3 typy wody, których definicje podano w tabeli 1.

Tabela 1
Definicje trzech składników śladu wodnego

Składnik śladu wodnego	Definicja
Niebieski	Woda powierzchniowa i gruntowa wykorzystywane do nawadniania, woda skonsumowana w rezultacie produkcji dobra lub usługi
Zielony	Woda deszczowa (opadowa) skonsumowana (z wilgoci glebowej) w czasie procesu produkcji, jak i ulegająca ewapotranspiracji (parowanie powierzchniowe)
Szary	Woda niezbędna do rozcieńczenia wody skażonej/zanieczyszczonej do akceptowalnego normami poziomu

Połączony ślad wody zielonej i niebieskiej dla zbiorów, w tym oczywiście paszy dla zwierząt (m^3/t), uzyskanych z pola jest równy całkowitej ewapotranspiracji z pola uprawnego w okresie wzrostu (m^3/ha), podzielony przez wydajność zbiorów (t/ha). Ślad wody szarej jest to ilość wody zanieczyszczonej przez nawozy i pestycydy (kg/ha), obliczana jako objętość wody potrzeb-

nej do ich rozcieńczenia do poziomu spełniającego normy jakościowe dla środowiska wodnego [17].

Rolnictwo odpowiada za 92% światowego śladu wody słodkiej. Ślad wodny globalnej produkcji rolniczej wynosi $8363 \text{ Gm}^3/\text{rok}$, na który składa się ślad wodny produkcji roślin uprawnych ($7404 \text{ Gm}^3/\text{rok}$), ślad wodny pastwisk ($913 \text{ Gm}^3/\text{rok}$) i bezpośredni ślad wodny zwierząt gospodarskich ($46 \text{ Gm}^3/\text{rok}$) [21, 22]. W latach 1996-2005, roczny globalny ślad wodny dla produkcji zwierzęcej wynosił 2422 Gm^3 (tj. 29% globalnej produkcji rolniczej), z czego 2112 Gm^3 stanowiła woda zielona, 151 Gm^3 – niebieska i 159 Gm^3 – szara. Fakt, że ok. 40% zbóż wyprodukowanych na świecie w latach 2001-2010 było przeznaczonych na paszę dla zwierząt jest znany ekspertom z sektora rolniczego, a raczej mniej specjalistom z sektora wodnego [9].

Na ślad wodny zwierząt zasadniczo składają się różne elementy: pośredni ślad wodny paszy, bezpośredni ślad wodny związany z wodą wykorzystywaną do pojenia i wodą niezbędną do obsługi w okresie chowu w gospodarstwie [4, 5]. Ślad wodny pojedynczego zwierzęcia można wyrazić równaniem: $WF_A = WF_F + WF_D + WF_S$, w którym kolejne składowe we wzorze odpowiadają śladowi wody wykorzystanej do produkcji paszy (WF_F), pojenia (WF_D) i obsługi (WF_S ; wykorzystanej do czyszczenia gospodarstwa i innych czynności niezbędnych w procesie produkcji i zachowania środowiska). Składowe śladu wodnego dla zwierząt wyrażone są w $\text{m}^3/\text{rok}/\text{zwierzę}$ lub – uwzględniając długość ich życia – w $\text{m}^3/\text{zwierzę}$. Biorąc pod uwagę całkowity ślad wodny dla poszczególnych kategorii produkcyjnych zwierząt, wykazano, że bydło mięsne miało największy udział (33%) w globalnym śladzie wodnym dla produkcji zwierząt hodowlanych (tab. 2). W dalszej kolejności uplasowały się: bydło mleczne (19%), świnie (19%) i brojlery kurze (11%) [22].

Tabela 2
Ślad wodny zwierząt poszczególnych gatunków [22]

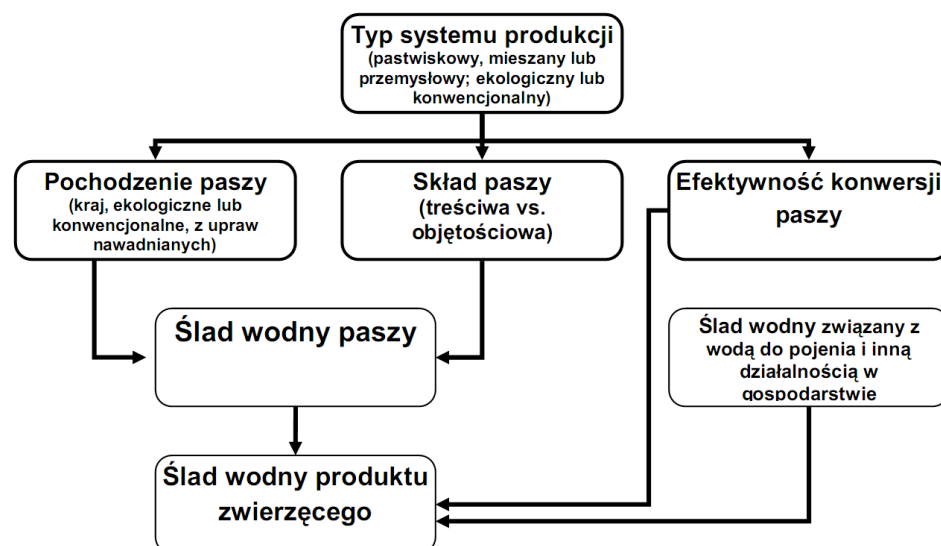
Gatunek	Średni życiowy ślad wodny zwierzęcia ($\text{m}^3/\text{szt.}$)	Przeciętny roczny ślad wodny zwierzęcia ($\text{m}^3/\text{rok}/\text{zwierzę}$)	% ogólnego śladu wodnego
Świnie	390	521,0	19
Kury – brojlery	6	25,6	11
Owce	141	68	3
Bydło mleczne	20558	2056	19
Bydło mięsne	1889	630,6	33
Konie	19189	1599,0	7

Obecnie globalny ślad wodny produktów pochodzenia zwierzęcego stanowi prawie 1/3 śladu wodnego całkowitej produkcji rolniczej [11]. Ślad wodny dla produktów zwierzęcych zależy od dwóch głównych czynników:

- ilości paszy zjadanej przez zwierzęta, mierzonej jako efektywność konwersji paszy, definiowanej jako ilość paszy (suchej masy) niezbędnej do wyprodukowania jednostki produktu zwierzęcego (np. mięsa);
- rodzaju paszy dostarczonej zwierzętom i jej śladu wodnego.

Ślad wodny całkowitej ilości paszy zależy natomiast od jej składu i pochodzenia różnych komponentów paszowych (rys.).

Przyjmując średnie światowe wartości, ślad wodny koncentratów paszowych jest pięciokrotnie większy niż pasz objętościowych (200 vs. $1000 \text{ m}^3/\text{t}$) [11]. Warto nadmienić, że do uprawy roślin objętościowych wykorzystuje się głównie wodę deszczową (opadową), zaś uprawy niezbędne do wyprodukowania koncentratów paszowych są często nawadniane i nawożone.



Rys. Czynniki determinujące ślad wodny produktu zwierzęcego [11]

Stąd też ślad wody niebieskiej i szarej jest większy nawet 43- i 61-krotnie dla koncentratów w porównaniu do pasz objętościowych (tab. 3).

W powszechnej opinii najważniejszym powodem wykorzystania wody w sektorze zwierzęcym jest pojenie zwierząt, w celu utrzymania podstawowych funkcji życiowych. Jednak faktyczne zapotrzebowanie na wodę zależy od gatunku, wieku, masy zwierzęcia, jak również paszy i systemu utrzymania.

Tabela 3

Przeciętne ślady wodne pasz treściwych i objętościowych (m³ wody/tonę paszy) [11]

Typ paszy	Ślad wody			
	zielonej	niebieskiej	szarej	całkowity
Treściwe	849	78	122	1048
Objętościowe	199	1,8	2	203
Proporcja śladu wodnego treściwe/objętościowe	4,3	43	61	5,2

Woda potrzebna do wyprodukowania paszy stanowi ok. 98% całkowitego śladu wodnego produktów zwierzęcych, natomiast woda przeznaczona do pojenia, obsługi i przygotowania paszy dla zwierząt wynosi jedynie, odpowiednio 1,1%, 0,8% i 0,03% [20]. W tabeli 4. przedstawiono ślad wody do pojenia i obsługi zwierząt w zależności od systemu ich utrzymania.

Zasadniczo, wpływ wytwarzania białka zwierzęcego na środowisko jest związany z jakością paszy i systemem produkcji [12]. Na świecie systemy chowu zwierząt gospodarskich można zróżnicować na 3 typy: pastwiskowy, mieszany i przemysłowy [30]. Największy udział w globalnym śladzie wodnym produkcji zwierzęcej stanowią mieszane systemy produkcji – 57,4%, zaś pastwiskowe i przemysłowe, odpowiednio 20,3% i 22,3%. W systemie pastwiskowym ponad 97% śladu wodnego związanego z produkcją paszy pochodzi z pastwisk i roślin uprawnych, gdzie dominuje ślad wody zielonej (94%). W mieszanych i prze-

mysłowych systemach produkcji woda zielona stanowi odpowiednio 87% i 82% w całkowitym śladzie wodnym. Ślad wody niebieskiej w systemie pastwiskowym wynosi 3,6% ogólnego śladu wodnego i ok. 33% pochodzi z wykorzystania wody do pojenia i obsługi. W systemie przemysłowym woda niebieska stanowi 8% całkowitego śladu wodnego [22].

Porównując konsumpcję paszy treściwej (koncentratów), stwierdza się coraz większe jej wykorzystanie w kolejnych systemach: pastwiskowy → mieszany → przemysłowy. Prowadzi to w konsekwencji do zwiększonego nacisku na środowisko naturalne i zasoby wodne, spowodowanego uprawą różnych gruntów i przygotowaniem pasz.

Tabela 4

Ślad wody (l/dzień) do pojenia i obsługi zwierząt w zależności od systemu utrzymania zwierząt [4, 20]

Gatunek	System produkcji			Średnia ważona
	pastwiskowy	mieszany	przemysłowy	
Woda do pojenia				
Bydło mięsne				
cielęta	5	5	5	5
dorośle	20	27	33	27
Bydło mleczne	40	55	70	52
Drób mięsny	0,18	0,18	0,18	0,18
Drób nieśny	0,30	0,30	0,30	0,30
Świnie				
prosięta	1,8	1,8	1,8	1,8
dorośle	8	11	14	11
Owce				
jagnięta	0,38	—	0,30	—
dorośle	6	6	7,6	6,1
Konie				
źrebięta	3	3	3	3
dorośle	45	45	45	45
Woda do obsługi				
Bydło mięsne				
cielęta	0	—	2	—
dorośle	5	7	11	7,1
Bydło mleczne	5	13,5	22	12
Drób mięsny	0,09	0,09	0,09	0,09
Drób nieśny	0,15	0,15	0,15	0,15
Świnie				
prosięta	0	—	5	—
dorośle	25	29	50	34
Owce				
jagnięta	0	—	2	—
dorośle	1,3	1,3	5	1,8
Konie				
źrebięta	0	—	5	—
dorośle	5	5	5	5

Tabela 5

Przeciętny globalny ślad wody zielonej, niebieskiej i szarej dla mięsa różnych gatunków, jaj i mleka (l/kg) w zależności od systemu produkcji [11, 22]

Wyszczególnienie	Składnik śladu wodnego	System produkcji			Średnia ważona
		pastwiskowy	mieszany	przemysłowy	
Drób	zielony	7919	4065	2337	3545
	niebieski	734	348	210	313
	szary	718	574	325	467
	razem	9371	4987	2872	4325
Wieprzowina	zielony	7660	5210	4050	7907
	niebieski	431	435	487	459
	szary	632	582	687	622
	razem	8723	6227	5224	5988
Wołowina	zielony	21 121	14 803	8849	14 414
	niebieski	465	508	683	550
	szary	243	401	712	451
	razem	21 829	15 712	10 244	15 415
Baranina	zielony	15 870	7784	4607	9813
	niebieski	421	484	800	522
	szary	20	67	216	76
	razem	16 311	8335	5623	10 412
Jaja	zielony	6781	3006	2298	2592
	niebieski	418	312	205	244
	szary	446	545	369	429
	razem	7644	3863	2872	3265
Mleko	zielony	1087	790	1027	863
	niebieski	56	90	98	86
	szary	49	76	82	72
	razem	1191	956	1207	1020

Gerbens-Leenes i wsp. [11] oszacowali ślad wodny (zielony, niebieski i szary) dla 3 gatunków mięsa (drobiowe, wieprzowe i wołowe) w Brazylii, Chinach, Holandii i USA, wyprodukowanego w 3 systemach produkcji (pastwiskowym, mieszanym i przemysłowym). W tabeli 5. przedstawiono w ujęciu globalnym przeciętny ślad wody zielonej, niebieskiej i szarej dla mięsa, jaj i mleka, w zależności od systemu produkcji. Globalny przeciętny ślad wodny dla jaj kurzych wynosił 3265 l/kg (ok. 200 l/jajo), a dla mleka krowiego – 1020 l/kg. Ślad wodny dla mięsa zwiększał się, począwszy od mięsa drobiowego (4325 m³/t), przez wieprzowinę (5988 m³/t) i baraninę (10 412 m³/t), aż do wołowiny (15 415 m³/t). Różnice te mogą być częściowo wyjaśnione różną efektywnością konwersji paszy u poszczególnych gatunków zwierząt. Zatem produkcja 1 kg wołowiny wymaga 8-krotnie więcej paszy (w przeliczeniu na suchą masę) w porównaniu do wieprzowiny i 11-krotnie więcej niż dla mięsa kurcząt.

Dodatkowym ważnym czynnikiem jest skład paszy, a zwłaszcza udział koncentratów paszowych w ogólnej ilości zadawanej paszy, które charakteryzują się większym śladem wodnym niż pasze objętościowe [22]. Zarówno ślad wody niebieskiej, jak i szarej dla mięsa wołowego były istotnie większe w systemach przemysłowych i mniejsze w systemach pastwiskowych. Przeciwną zależność stwierdzono dla mięsa drobiowego. Produkcja mięsa wieprzowego w systemach przemysłowych charakteryzowała się nieznacznie większym śladem wody niebieskiej i szarej, w porównaniu do systemów pastwiskowych. Zarówno dla mięsa drobiowego i wieprzowego, jak i wołowiny przeciętny ślad wody zielonej na świecie był najniższy w systemie pastwiskowym, wyższy w systemie mieszanym, a najwyższy w prze-

mysłowym. Gerbens-Leenes i wsp. [11] również stwierdzili, że wołowina charakteryzowała się największym całkowitym śladem wodnym, mniejszym wieprzowina i mięso drobiowe, jakkolwiek średnie globalne ślady wody niebieskiej i szarej były zbliżone dla wszystkich gatunków mięsa. Analizując natomiast systemy pastwiskowe wykazano, że ślady wody niebieskiej i szarej dla mięsa drobiowego i wieprzowego były większe, niż te określone dla wołowiny. Można to wiązać z faktem, że produkcja mięsa wołowego w systemie pastwiskowym w większości oparta jest na wodzie zielonej. Drób i świny utrzymywane w takim systemie, nadal są natomiast karmione znaczącą ilością paszy skoncentrowanej (treściwej), uzyskiwanej z upraw częściowo nawadnianych (woda niebieska) i nawożonych (woda szara). Biorąc pod uwagę fakt, iż kwestie związane z zasobami wody słodkiej zasadniczo związane są z niedoborem wody niebieskiej i zanieczyszczeniem wody, a w mniejszym zakresie z konkurencją o wodę zieloną, to systemy pastwiskowe (z punktu widzenia zachowania zasobów wodnych) powinny być preferowane. Oczywiście, ślad wodny sektora zwierzęcego jest tylko jednym z wielu czynników, które należy rozpatrywać. Do innych ważnych czynników należy zaliczyć dobrostan zwierząt, zagadnienia związane ze zdrowiem publicznym i bezpieczeństwem żywno-

ściowym, jak również kwestiami środowiskowymi innymi niż woda, jak np. emisja gazów cieplarnianych.

Około 85% śladu wodnego ludzkości związane jest z konsumpcją żywności (produktów rolniczych), 10% z produktami przemysłowymi, a jedynie 5% stanowi konsumpcja wody w gospodarstwach domowych [16]. Wirtualnie każdy przemysł wykorzystuje wodę. W niektórych przypadkach, jak np. elektrownie wodne czy żegluga morska, jest ona używana w zasobach naturalnych (rzekach, morzach), w innych natomiast, m.in. w przetwórstwie, woda jest pobierana, tzn. usuwana z naturalnych źródeł [31]. W procesach przemysłowych, które wykorzystują taką wodę, następuje jej pobór z lokalnych systemów wodnych, następnie konsumpcja jej części, a po wykorzystaniu usunięcie pozostałości (tab. 6).

Wykorzystanie wody w trakcie przetwarzania żywności jest co prawda istotnie mniejsze niż w produkcji podstawowej, lecz nadal ważne – zwłaszcza w aspekcie jej jakości. W sektorze spożywczym wymogi odnośnie do jakości wody zależą od tego, czy możliwy jest kontakt między wodą i produktem spożywczym. Woda, która wchodzi w kontakt z produktem musi (z kilkoma wyjątkami) spełniać, co najmniej wymagania dla wody pitnej. Woda jest bezpieczna dla zdrowia ludzkiego, jeżeli jest wolna od mikroorganizmów chorobotwórczych i pasożytów w liczbie stanowiącej potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego, wszelkich substancji w stężeniach stanowiących potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego oraz nie wskazuje agresywnych właściwości korozyjnych. Podstawowe i dodatkowe wymagania mikrobiologiczne, chemiczne, organoleptyczne, fizykochemiczne i dotyczące substancji promieniotwórczych zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z

Tabela 6

Definicje typów wody w przetwórstwie

Termin	Definicja	Źródło
Pobór	Napływ wody z zasobów powierzchniowych, gruntowych, opadowych, sieci wodociągowej lub morskich dla każdej działalności	Global Reporting Initiative [13]
Konsumpcja	Ubytek wody poprzez ewaporację, transpirację, wbudowanie w produkt lub chemiczna konwersja, lub odpływ do izolowanych zbiorników	Bayart i wsp. [3]
Odpływ	Suma wody w ściekach z procesów przemysłowych odprowadzanych do pierwotnych lub wtórnych zbiorników wodnych (powierzchniowych, podskórnych lub kanalizacji), zasilających ewentualnie rzeki, jeziora, tereny podmokłe i oceany. Ścieki mogą zawierać wodę będącą produktem ubocznym z niektórych procesów (z reakcji chemicznych lub przerobu wodnistej biomasy).	Schornagel i wsp. [31]

dnia 13 listopada 2015 r. [28]. Wymagania tego Rozporządzenia dotyczą m.in. wody pobieranej z urządzeń wodociągowych i punktów czerpalnych wody wykorzystywanej w produkcji lub obrocie żywnością (w tym wprowadzanej do jednostkowych opakowań).

Jakość wody w sektorze spożywczym uzależniona jest również od konkretnego jej zastosowania, w tym m.in. do:

- przetwórstwa, w którym woda wchodzi w kontakt z produktem lub jest dodawana do produktu;
- chłodzenia i czyszczenia;
- celów technologicznych, np. mycia surowców, produktów pośrednich oraz produktów;
- do gotowania, rozpuszczania i transportu;
- wytwarzania pary wodnej i próżni;
- klimatyzacji i ogrzewania;
- celów sanitarnych;
- ochrony przeciwpożarowej.

Produkcja żywności wymaga ogromnej ilości wody – człowiek każdego dnia wypija kilka litrów wody, ale konsumuje jej tony. Znaczne ilości wody w przetwórstwie mięsa są wykorzystywane do mycia i rozmrażania surowca (ok. 3-5 m³/t). Do innych operacji, w których zużycie wody jest wysokie zalicza się m.in. pasteryzację, sterylizację, chłodzenie, czyszczenie i dezynfekcję, jakkolwiek poziom zużycia wody może się wahać, np.

odpowiedniki sojowe. Globalny przeciętny ślad wodny 1 litra mleka krowiego wynosi 1050 litrów, zaś jego odpowiednik sojowy ok. 300 litrów [8]. Podobne relacje występują, gdy wielkość śladu wodnego przeliczona zostanie na kalorie, białko lub tłuszcz. Dla kalorii pochodzących z wołowiny przeciętny ślad wodny jest 20-krotnie większy w porównaniu do zbóż i produktów skrobiowych. W przypadku zapotrzebowania wody na białko, ślad wodny 1 g białka z mleka, jaj i mięsa drobiowego jest ok. 1,5 razy większy niż dla roślin strączkowych, a dla wołowiny aż 6-krotnie większy. Jedynie w odniesieniu do tłuszczu masło posiada relatywnie mały ślad wodny w przeliczeniu na 1 g, tzn. niższy niż dla olejów roślinnych. Wszystkie inne produkty zwierzęce posiadają natomiast większy ślad wodny dla tłuszczu w porównaniu do olejów roślinnych [20].

Obecnie trwa gorąca dyskusja na temat kryzysu wodnego. Najbardziej oczywistym skutkiem jest brak dostępu do bezpiecznej wody dla ponad 1 mld ludzi w ich gospodarstwach domowych. Pomimo dużej uwagi skierowanej na kwestie związane z zasobami dostępnej wody słodkiej i powagę sytuacji, wciąż występuje ogromna różnica pomiędzy tym, co hodowcy, agronomowie i hydrologowie uważają za możliwe, a co zdaniem ekologów jest niezbędne [14]. Zdaniem wielu autorów, produkcja zwierzęca powoduje znaczne szkody ekologiczne, związane z emisją gazów cieplarnianych (GHG – greenhouse gas), zakwaszeniem, nitrifikacją i erozją gleby, eutrofizacją, zmniejszeniem bioróżnorodności i globalnym niedoborem wody słodkiej [20, 34, 35].

Tabela 7

Przeciętny globalny ślad wody zielonej, niebieskiej i szarej dla przetworów mlecznych (l/kg) w zależności od systemu produkcji [22]

Wyszczególnienie	Składnik śladu wodnego	System produkcji			Średnia ważona
		pastwiskowy	mieszany	przemysłowy	
Mleko w proszku	zielony	5052	3671	4777	4011
	niebieski	261	421	455	398
	szary	227	354	382	336
	razem	5540	4446	5614	4745
Masło	zielony	5913	4297	5591	4695
	niebieski	305	492	532	465
	szary	265	415	448	393
	razem	6484	5204	6571	5553
Ser	zielony	5371	3903	5078	4264
	niebieski	293	463	500	439
	szary	241	377	406	357
	razem	5905	4743	5984	5060

wskutek różnych asortymentów produktów czy wielkości partii. W tabeli 7. przedstawiono przeciętny globalny ślad wody zielonej, niebieskiej i szarej dla przetworów mlecznych w zależności od systemu produkcji.

Wybory konsumentów dotyczące poszczególnych produktów żywnościowych mogą zatem istotnie oddziaływać na zapotrzebowanie na wodę [10, 24, 34]. W przeliczeniu na jednostkę masy, produkty zwierzęce zasadniczo obciążone są większym śladem wodnym niż produkty roślinne, np. ich

odpowiedniki sojowe. Globalny przeciętny ślad wodny 1 litra mleka krowiego wynosi 1050 litrów, zaś jego odpowiednik sojowy ok. 300 litrów [8]. Podobne relacje występują, gdy wielkość śladu wodnego przeliczona zostanie na kalorie, białko lub tłuszcz. Dla kalorii pochodzących z wołowiny przeciętny ślad wodny jest 20-krotnie większy w porównaniu do zbóż i produktów skrobiowych. W przypadku zapotrzebowania wody na białko, ślad wodny 1 g białka z mleka, jaj i mięsa drobiowego jest ok. 1,5 razy większy niż dla roślin strączkowych, a dla wołowiny aż 6-krotnie większy. Jedynie w odniesieniu do tłuszczu masło posiada relatywnie mały ślad wodny w przeliczeniu na 1 g, tzn. niższy niż dla olejów roślinnych. Wszystkie inne produkty zwierzęce posiadają natomiast większy ślad wodny dla tłuszczu w porównaniu do olejów roślinnych [20].

Obecnie trwa gorąca dyskusja na temat kryzysu wodnego. Najbardziej oczywistym skutkiem jest brak dostępu do bezpiecznej wody dla ponad 1 mld ludzi w ich gospodarstwach domowych. Pomimo dużej uwagi skierowanej na kwestie związane z zasobami dostępnej wody słodkiej i powagę sytuacji, wciąż występuje ogromna różnica pomiędzy tym, co hodowcy, agronomowie i hydrologowie uważają za możliwe, a co zdaniem ekologów jest niezbędne [14]. Zdaniem wielu autorów, produkcja zwierzęca powoduje znaczne szkody ekologiczne, związane z emisją gazów cieplarnianych (GHG – greenhouse gas), zakwaszeniem, nitrifikacją i erozją gleby, eutrofizacją, zmniejszeniem bioróżnorodności i globalnym niedoborem wody słodkiej [20, 34, 35]. Dodatkowo, FAO przewiduje, że światowa produkcja i konsumpcja mięsa zostanie podwojona do roku 2050, w porównaniu do roku 2000 [34]. Ten wzrost, związany z konsumpcją mięsa, będzie wpływał negatywnie w następnych dekadach na ilość dostępnej świeżej wody [37].

Optymistyczne są natomiast zapewnienia wielu analityków, że zasoby wody w 2050 roku będą wystarczające, aby wyprodukować żywność dla populacji 10 mld ludzi. Sprzyjać temu będzie rozsądne gospodarowanie zasobami wodnymi oraz zwiększona efektywność produkcji rolniczej [6, 7, 33]. Warto również przypomnieć, że około 80% paszy przeznaczonej dla zwierząt

(w przeliczeniu na suchą masę) nie może być skonsumowana przez ludzi, a przeżuwacze wykorzystują pastwiska, których często nie można przeznaczyć dla roślin uprawnych (około 75% całkowitych gruntów rolniczych). Ponadto zwierzęta są zdolne do konwersji biomasy, resztek pożywnych i niejadalnych produktów ubocznych na produkty jadalne o wysokiej wartości (mięso, produkty mleczne, jaja) dla ludzi [15]. Zwierzęta gospodarskie generują ponadto produkty nieżywnościowe (surowce odzieżowe, uboczne produkty z uboju np. do wykorzystania w medycynie), jak również są wartościowym źródłem biogazu z gnojowicy lub obornika do zachowania żyzności gleby, co tym samym pozwala zredukować ilość wykorzystywanych nawozów syntetycznych.

Czy zatem ludzie powinni zrezygnować z produktów żywnościowych pochodzenia zwierzęcego, a zwłaszcza mięsa, których produkcja pochłania tak wielkie ilości wody? Na pewno nie. Ślad wodny dla konsumpcji mięsa można zmniejszyć do optymalnego poziomu w efekcie znalezienia właściwej równowagi pomiędzy efektywnością produkcji a niskim śladem wodnym produkcji i składu pasz. Ludzkość może dodatkowo ograniczyć ślad wodny dla żywności na drodze substitucji mięsa żywnością pochodzenia roślinnego, ale przede wszystkim powinna zmniejszyć ilość marnowanej na świecie żywności [1, 11].

Literatura: 1. Barłowska J., Florek M., Litwińczuk Z., 2016 – Produkcja żywności – ilość czy jakość? Cz. I. Przemysł Spożywczy 2 (70), 8-12. 2. Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008 – Climate Change and Water. IPCC Secretariat: Geneva, Switzerland. 3. Bayart J.-B., Bulle C., Deschenes L., Margni M., Pfister S., Vince F., 2010 – A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. Int. J. Life Cycle Assess. 15, 439-53. 4. Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2003 – Virtual Water Flows between Nations in Relation to Trade in Livestock and Livestock Products. Value of Water Res. Rep. Ser. No. 13; UNESCO-IHE: Delft, The Netherlands. 5. Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2004 – Water Footprints of Nations. Value of Water Res. Rep. Ser. No. 16; UNESCO-IHE: Delft, The Netherlands. 6. de Fraiture C., Molden D., Wichelns D., 2010 – Investing in water for food, ecosystems, and livelihoods: An overview of the comprehensive assessment of water management in agriculture. Agricultural Water Management 97 (4), 495-501. 7. de Fraiture C., Wichelns D., 2010 – Satisfying future water demands for agriculture. Agricultural Water Management 97 (4), 502-511. 8. Erzin A.E., Aldaya M.M., Hoekstra A.Y., 2011 – The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. Value of Water Res. Rep. Ser. No. 49, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. 9. FAO, 2014 – FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations (<http://faostat.fao.org>). 10. Galloway J., Burke M., Bradford G.E., Naylor R., Falcon W., Chapagain A.K., Gaskell J.C., McCullough E., Mooney H.A., Oleson K.L.L., Steinfeld H., Wassenaar T., Smil V., 2007 – International trade in meat: The tip of the pork chop. Ambio 36, 622-629. 11. Gerbens-Leenes P.W., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2011 – A comparative study on the water footprint of poultry, pork and beef in different countries and production systems. Value of Water Res. Rep. Ser. No. 55, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. 12. Gerber P., Wassenaar T., Rosales M., Castel V., Steinfeld H., 2006 – Environmental Impacts of a changing livestock production: Overview and discussion for a comparative assessment with other food production sectors. In Comparative Assessment of the Environment Costs of Aquaculture and Other Food Production Sectors: Methods of Meaningful Comparisons, Proceedings of the FAO/WFT Expert Workshop on Comparative Assessment of the Environmental Costs of Aquaculture and Other Food Production Sectors, Vancouver, BC, Canada, 24-28 April 2006. 13. Global Reporting Initiative, 2010 – Reporting framework downloads. (<http://www.globalreporting.org/Home>). 14. Gordon L.J., Max Finlayson C. M., Falkenmark M., 2010 – Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. Agricultural Water Management 97, 512-519. 15. Guinot C., Huang H.,

Legg W., 2015 – What is the meat and livestock industry doing to reduce its impact on climate change? EuroChoices 14 (2), 48-52. 16. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., 2007 – Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resource Management 21, 35-48. 17. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., 2008 – Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 18. Kirby R.M., Bartram J., Carr R., 2003 – Water in food production and processing: quantity and quality concerns. Food Control 14, 283-299. 19. Mancosu N., Snyder R.L., Kyriakakis G., Spano D., 2015 – Water scarcity and future challenges for food production. Water 7, 975-992. 20. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2010 – The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Value of Water Res. Rep. Ser. No. 48, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. 21. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2011 – National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption. Value of Water Res. Rep. Ser. No. 50. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands. 22. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2012 – A global assessment of the water footprint of farm animal products. Ecosystems 15, 401-415. 23. Murakami M., Hirose K., Yurimoto H., Nakashima S., Takafuji N., 2002 – Water in Earth's Lower Mantle. Science 295, 5561, 1885-1887. 24. Peden D., Tadesse G., Misra A.K., Ahmed F.A., Astatke A., Ayalew W., Herrero M., Kiwuwa G., Kumsa T., Mati B., Mpairwe D., Wassenaar T., Yimegnuh A., 2007 – Water and livestock for human development. In: Molden D. (ed.) Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture. International Water Management Institute, Colombo, Earthscan, London, 485-514. 25. Ridoutt B.G., Sanguansri P., Freer M., Harper G.S., 2012 – Water footprint of livestock: Comparison of six geographically defined beef production systems. Int. J. Life Cycle Assess. 17, 165-175. 26. Rijsberman F., 2006 – Water scarcity: Fact or fiction? Agricultural Water Management 80, 5-22. 27. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 28 czerwca 2010 r. w sprawie minimalnych warunków utrzymywania gatunków zwierząt gospodarskich innych niż te, dla których normy ochrony zostały określone w przepisach Unii Europejskiej (Dz.U. z 28.06.2010, nr 116, poz. 778). 28. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. z 2015 r., poz. 1989). 29. Rozporządzenie (WE) nr 178/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 stycznia 2002 r. ustanawiające ogólne zasady i wymagania prawa żywnościowego, powołujące Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności oraz ustanawiające procedury w zakresie bezpieczeństwa żywności (Dz.U. L 31 z 1.2.2002, str. 1; ze zmianami). 30. Seré C., Steinfeld H., Groenewold J., 1995 – World Livestock Production Systems: Current Status, FAO, Issues and Trends. 31. Schornagel J., Niele F., Worrell E., Böggemann M., 2012 – Water accounting for (agro)industrial operations and its application to energy pathways. Resources, Conservation and Recycling 61, 1-15. 32. SIWI, IFPRI, IUCN, IWMI, 2005 – Let it Reign: The New Water Paradigm for Global Food Security. Final Report to CSD-13. Stockholm International Water Institute, Stockholm. 33. Springer N.P., Duchin F., 2014 – Feeding nine billion people sustainably: Conserving land and water through shifting diets and changes in technologies. Environ. Sci. Technol. 48 (8), 4444-4451. 34. Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C., 2006 – Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options; LEAD/FAO: Rome, Italy. 35. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO-WWAP), 2009 – The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World; The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Paris, France. 36. Ye Y., Brown D.A., Smyth J.R., Panero W.R., Jacobsen S.D., Chang Y.-Y., Townsend J.P., Thomas S.-M., Hauri E.H., Dera P., Frost D.J., 2012 – Compressibility and thermal expansion of hydrous ringwoodite with 2.5(3) wt% H₂O. American Mineralogist 97, 4, 573-582. 37. Zonderland-Thomassen M.A., Lieffering M., Ledgard S.F., 2014 – Water footprint of beef cattle and sheep produced in New Zealand: Water scarcity and eutrophication impacts. J. Clean. Prod. 73, 253-262.