

# JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE, BIOLOGY AND BIOECONOMY

wcześniej – formerly

Annales UMCS sectio EE Zootechnica

VOL. XXXV (3)

2017

CC BY–NC–ND

DOI: 10.24326/jasbb.2017.3.1

<sup>1</sup>Katedra Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych

<sup>2</sup>Zakład Hodowli i Ochrony Zasobów Genetycznych Bydła

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin

e-mail: mariusz.florek@up.lublin.pl

MARIUSZ FLOREK<sup>1</sup>, JOANNA BARŁOWSKA<sup>1</sup>,  
ZYGMUNT LITWIŃCZUK<sup>2</sup>

## Ślad wodny w produkcji zwierząt rzeźnych

The water footprint in production of animals for slaughter

**Streszczenie.** Wpływ człowieka na środowisko naturalne okazał się znacznie większy i szybszy, niż tego oczekiwano, a ludzkość wykorzystuje więcej zasobów i bogactw naturalnych niż Ziemia jest zdolna odtworzyć. Obecnie sektor produkcji zwierzęcej wykorzystuje na świecie ok. 75% wszystkich terenów rolniczych i jednocześnie korzysta z ok. 30% globalnych zasobów wody w rolnictwie. Oczekiwany wzrost zapotrzebowania na produkty pochodzenia zwierzęcego w przyszłości będzie wpływać na środowisko jako efekt rosnących dochodów, wzrostu populacji i urbanizacji. Dlatego też wiedza o zapotrzebowaniu na wodę dla zwierząt gospodarskich w różnych systemach produkcji jest zagadnieniem o strategicznym znaczeniu. Ślad wodny dla zwierząt rzeźnych jest uzależniony przede wszystkim od typu zadawanej paszy, a także od efektywności produkcyjnej zwierząt. Dodatkowo stosunek pasz objętościowych do koncentratów paszowych oraz ich rodzaj również istotnie wpływają na wielkość śladu wodnego. Ze względu na wykorzystanie zasobów wody słodkiej produkty zwierzęce z systemów pastwiskowych są bardziej preferowane niż te uzyskane w systemach przemysłowych.

**Słowa kluczowe:** ślad wodny, mięso, zwierzęta gospodarskie, pasze

### WSTĘP

Woda (H<sub>2</sub>O, tlenek wodoru, oksydan) jest jedną z najpowszechniej występujących substancji we Wszechświecie (wraz z wodorem cząsteczkowym i tlenkiem węgla), w tym także w Układzie Słonecznym. Związek ten istniał na Ziemi na długo, zanim pojawiło się na niej życie i stworzył warunki rozwoju dla różnorodnych jego form. Termin „woda” (jako związek chemiczny) odnosi się do każdego stanu jej skupienia, tzn. ciekłego (w warunkach standardowych), gazowego (para wodna), i stałego (lód). Wiele właściwości wody ma fundamentalne znaczenie dla życia na Ziemi, pomimo że niektórych jej własności nawet współczesna nauka nie potrafi wyjaśnić.

Woda jest bardzo zróżnicowanym bogactwem w przeciwieństwie do statycznych łądów. Szacowane zasoby wody na Ziemi wynoszą ok. 1 386 mln km<sup>3</sup>, w tym oceany stanowią 97%, a lodowce blisko 2%. Większość wody na Ziemi to woda słona, jedynie 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. Na obieg wody na Ziemi składa się dynamiczny cykl opadów i parowania oraz różne jej zasoby (płynące i stojące). Roczna przeciętna ilość wody deszczowej na świecie wynosi 110 tys. km<sup>3</sup>. Około 1/3 z tej ilości przedostaje się do warstw wodonośnych, rzek i jezior, z czego jedynie ok. 12 tys. km<sup>3</sup> wody może być wykorzystane bezpośrednio przez ludzi [SIWI... 2005].

Woda jest niezbędna do egzystencji ludzkości, przy czym obecnie jednym z najczęstszych określeń łączonych ze słowem „woda” jest „ograniczona ilość (lub niedostatek)” [Rijsberman 2006]. Wiele obszarów na świecie osiągnęło już krytyczny poziom zasobności w wodę i należy je traktować jako tereny o ograniczonych jej rezerwach [Mancosu i in. 2015]. Polska jako kraj europejski należy do krajów o niewielkich zasobach wodnych. Szacuje się, że z całkowitej ilości wody spływającej do Bałtyku w roku na jednego Polaka przypada niecałe 1600 m<sup>3</sup>, tzn. blisko trzykrotnie mniej w porównaniu z przeciętnym mieszkańcem Europy (ok. 4600 m<sup>3</sup>).

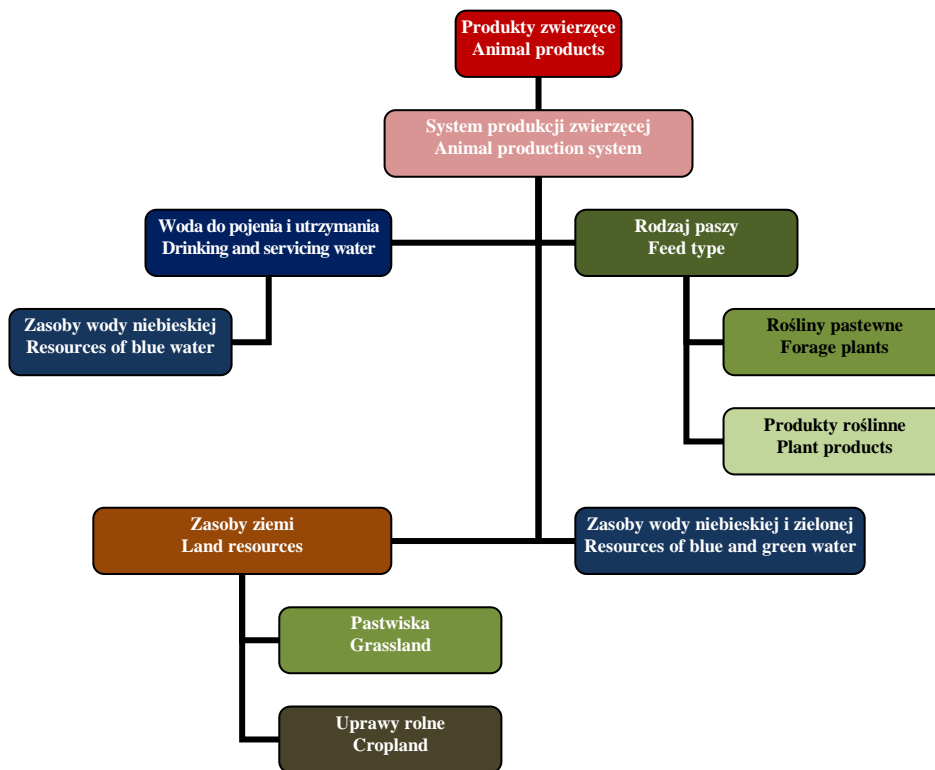
Dostępność zasobów słodkiej wody, odpowiedniej pod względem ilości i jakości, jest kluczowa dla bezpieczeństwa żywnościowego i niezbędna w produkcji żywności, którą należy rozpatrywać, począwszy od produkcji podstawowej (nawadnianie upraw czy pojenie zwierząt), zaś kończąc na typowym przetwórstwie (np. jako składnik, medium transportu i środek higieny) [Kirby i in. 2003, Schornagel i in. 2012].

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 człowieka [Hoekstra i Chapagain 2007]. Według IV Raportu Międzyrządowego Panelu Zmian Klimatycznych (the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) kluczowymi czynnikami powiększającymi niedostatek wody są zmiany klimatyczne, wzrost populacji ludzi, zmiany ekonomiczne i zmiany wykorzystania ziemi (gruntów rolniczych) [Bates i in. 2008].

#### ZASOBY DO PRODUKCJI ZWIERZĘCEJ

Produkcja zwierzęca wymaga większych ilości naturalnych zasobów (w tym woda i łądy), a oczekiwany wzrost zapotrzebowania na produkty pochodzenia zwierzęcego może potencjalnie zwiększyć wpływ na środowisko związane z hodowlą zwierząt gospodarskich [Godfray i in. 2010, Herrero i in. 2015, Westhoek i in. 2014].

Obecnie sektor produkcji zwierzęcej wykorzystuje na świecie ok. 75% wszystkich terenów rolniczych [Foley i in. 2011] i jednocześnie korzysta z ok. 30% globalnych zasobów wody w rolnictwie, na którą składa się woda z opadów i nawadniania wykorzystywana do produkcji paszy i woda pobierana na potrzeby hodowli zwierząt [Mekonnen i Hoekstra 2012].



Rys. 1. Schemat zasobów wodnych i ziemi w produkcji zwierzęcej [Ran i in. 2017]

Fig. 1. Water and land resources in livestock production [Ran i in. 2017]

Aktualnie coraz wyraźniejsza staje się konieczność pogodzenia potrzeb zwiększającej się produkcji zwierząt gospodarskich z malejącymi zasobami wody. Dlatego też racjonalna dystrybucja słodkiej wody i zapotrzebowanie na nią w produkcji zwierzęcej mają szczególne znaczenie [Busscher 2012, Ridoutt i in. 2014].

Jednym z dostępnych wskaźników zapotrzebowania wody w cyklach produkcyjnych jest ślad wodny (WF – water footprint), który został ostatnio znormalizowany przez ISO [ISO 2014]. Unia Europejska w Ramowej dyrektywie wodnej [EC 2000] wskazuje natomiast, że woda nie jest produktem handlowym takim jak każdy inny, ale raczej dziedzictwem, które musi być chronione, bronione i traktowane jako takie. Nakazuje ponadto poprawę jakości i produktywności wody oraz ograniczenie jej niedoborów w krajach członkowskich. Koncepcja śladu wodnego stwarza możliwość powiązania zużycia zasobów wodnych z konsumpcją dóbr, a została ona wprowadzona do zarządzania zasobami wodnymi w celu oszacowania zarówno bezpośredniego, jak i pośredniego zużycia wody przez konsumentów. Pojęcie wody wirtualnej zostało zdefiniowane przez Allana [1993] jako narzędzie do opisu „wirtualnych” przepływów wody niezbędnej do wyprodukowania towarów, a następnie ich wyeksportowania, zaś metodologię obliczania śladu wodnego opracowali Hoekstra i Hung [2002].

Ślad wodny odzwierciedla w szczególności całkowitą ilość wody słodkiej (wykorzystanej bezpośrednio lub pośrednio) niezbędnej do wyprodukowania lub konsumpcji dóbr i usług i obejmuje wodę zużytą lub zanieczyszczoną w całym procesie produkcji, od zbiorów, przez przetwarzanie, po pakowanie i dystrybucję [Hoekstra i in. 2011]. Ślad wodny obejmuje zazwyczaj 3 typy wody:

- niebieską – woda powierzchniowa i gruntowa, wykorzystywane do nawadniania;
- zieloną – woda deszczowa, wykorzystywana przez rośliny i podlegająca ewapotranspiracji (parowanie powierzchniowe);
- szarą – woda niezbędna do rozcieńczenia zanieczyszczeń (nawozy, pestycydy) wypłukiwanych z pól do wód gruntowych do poziomu spełniającego normy jakościowe dla środowiska wodnego.

W zależności od intensyfikacji (lub ekstensyfikacji) produkcji zwierzęcej na świecie wyróżnia się 3 systemy chowu zwierząt gospodarskich: pastwiskowy, mieszany i przemysłowy [Seré i in. 1995]. W globalnym śladzie wodnym stanowią one odpowiednio 20,3%, 57,4% i 22,3%. W systemie pastwiskowym ponad 97% WF związanego z produkcją paszy pochodzi z pastwisk i roślin uprawnych, z dominującym śladem wody zielonej (94%), a następnie niebieskiej (3,6%). Woda zielona w pozostałych systemach produkcji, tj. mieszanym i przemysłowym, stanowi odpowiednio 87% i 82% całkowitego WF. W systemie przemysłowym woda niebieska stanowi 8% całkowitego śladu wodnego [Mekonnen i Hoekstra 2012].

Ślad wodny zwierząt to suma 3 składowych: śladu wodnego paszy oraz wody niezbędnej do pojenia i obsługi w całym okresie chowu [Chapagain i Hoekstra 2003, 2004]. Ślad wodny zwierzęcia związany z konsumowaną paszą ( $WF_{paszy}$  wg podanego wzoru) obliczany jest jako suma śladu wodnego różnych składników paszy i wody do jej przygotowania [Mekonnen i Hoekstra 2012].

$$WF_{paszy} = \frac{(Pasza \times WF_{prod}) + WF_{przygot}}{N}$$

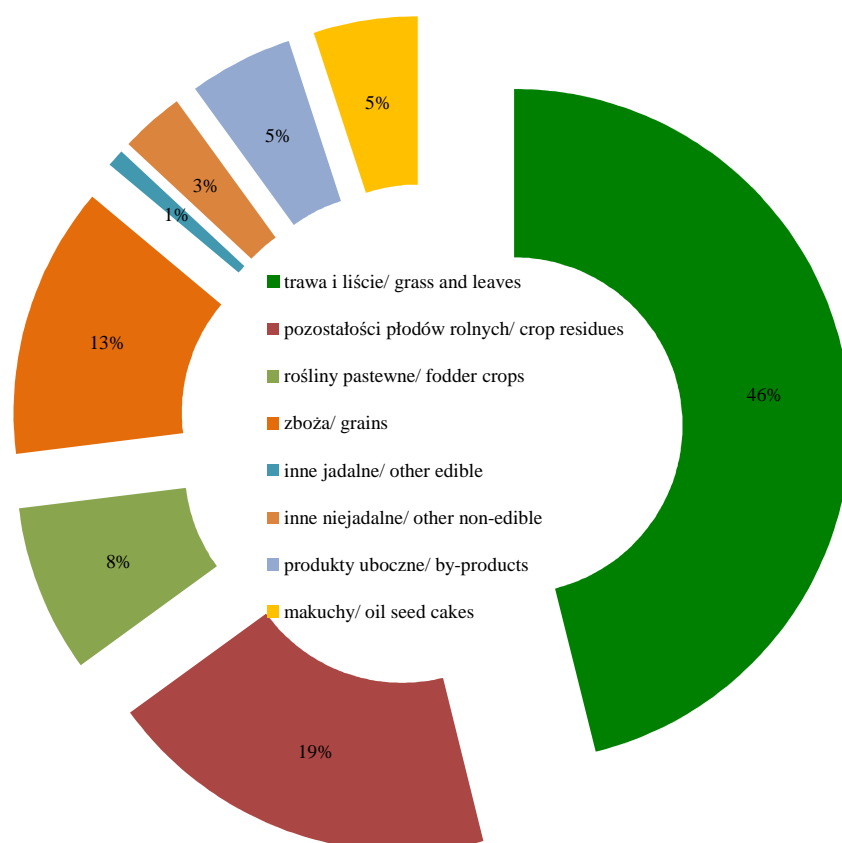
Pasza – roczna ilość wszystkich składników paszowych pobieranych przez zwierzęta danej kategorii w określonym systemie produkcji (t/rok),

$WF_{prod}$  – ślad wodny poszczególnych składników paszy ( $m^3/t$ ),

$WF_{przygot}$  – objętość wody wykorzystywanej do przygotowania paszy (np. podczas mieszania) dla zwierząt ( $m^3/rok/zwierzę$ ),

$N$  – liczba zwierząt produkcyjnych w roku.

Według FAO [2017] w 2010 r. w sektorze zwierzęcym spożycie materiału paszowego (w przeliczeniu na suchą masę) wyniosło ok. 6 mld t, co stanowiło 1/3 światowej produkcji zbóż (rys. 2). Należy zaznaczyć, że 86% paszy dla zwierząt na świecie nie nadawała się do spożycia jako pokarm przez ludzi. Co więcej, makuchoz z roślin oleistych, których produkcję można uznać za główny powód użytkowania gruntów, stanowiły jedynie 5% globalnego spożycia zbóż paszowych przez zwierzęta inwentarskie. Szacuje się, że zwierzęta monogastryczne spożywają 72% światowych zasobów zbóż paszowych, natomiast w diecie przeżuwaczy ponad 57% stanowią trawy i liście.



Rys. 2. Struktura komponentów paszowych dla zwierząt gospodarskich na świecie w 2010 r. [FAO, GLEAM 2.0]

Fig. 2. Structure of main feed types in global livestock intake in 2010 [FAO, GLEAM 2.0]

W systemie pastwiskowym i mieszanym pasza przeżuwaczy złożona jest w ok. 90% z pasz objętościowych: liści, traw, kiszzonek i pozostałości produktów rolnych. Pasze te mają mniejsze znaczenie w systemie przemysłowym (feedloty), gdzie zboża w fazie opasu stanowią do 38% spożycia s.m. w krajach rozwijających się i 72% w rozwiniętych. Zwierzęta monogastryczne mogą trawić jedynie proste węglowodany, dlatego też spożywają niewielkie ilości pasz objętościowych. Natomiast wykorzystują większe ilości zbóż oraz rolniczych produktów ubocznych.

W bilansowaniu śladu wodnego produkcji zwierzęcej istotną rolę odgrywa skład paszy, a zwłaszcza udział koncentratów paszowych w ogólnej ilości zadawanej paszy. Koncentraty paszowe charakteryzują się bowiem większym śladem wodnym niż pasze objętościowe [Mekonnen i Hoekstra 2012]. Wynika to z faktu, że intensywne uprawy wymagają większego nawadniania i nawożenia, co w szczególności zwiększa w śladzie wodnym ilość wody szarej i niebieskiej [Gerbens-Leenes i in. 2013]. Wykazano, że całkowity ślad wodny pasz objętościowych jest pięciokrotnie mniejszy niż pasz treściwych

(203 vs. 1048 m<sup>3</sup>/t) [Gerbens-Leenes i in. 2011]. Ponadto produkcja roślin objętościowych oparta jest głównie na wodzie deszczowej, zaś rośliny konieczne do uzyskania pasz treściwych (zboża, soja, kukurydza) należy często nawadniać i nawozić. Stąd też ślad wody niebieskiej i szarej (m<sup>3</sup> wody/t paszy) dla pasz objętościowych wynosi odpowiednio 1,8 i 2, zaś dla pasz treściwych 78 i 122.

#### PRODUKCJA MIĘSA NA ŚWIECIE

Globalna konsumpcja mięsa w 2015 r. została oszacowana przez OECD na 317 mln t, co stanowi wzrost o ponad 100 mln t w porównaniu z rokiem 1995, przy przeciętnym tempie wzrostu na poziomie 2,3% rocznie [OECD 2017]. Największy wzrost światowej konsumpcji odnotowano w odniesieniu do mięsa drobiowego, powyżej 3,6% rocznie, oraz w odniesieniu do wieprzowiny – ponad 2%. Spożycie mięsa przeżuwaczy zwiększało się bardzo powoli, w tym wołowiny jedynie nieco ponad 1% rocznie. Do 2015 r. spożycie mięsa wieprzowego i drobiowego (relatywnie najtańszego) stanowiło ok. 3/4 światowej konsumpcji mięsa. Ponad 44% globalnej ilości mięsa wołowego konsumowane jest na kontynencie amerykańskim, a 60% mięsa wieprzowego w Azji. W Afryce i Azji łącznie konsumuje się ponad 80% światowej baraniny [OECD 2017]. FAO przewiduje, że światowa produkcja i konsumpcja mięsa zostanie podwojona do 2050 r., w porównaniu z rokiem 2000 [Steinfeld i in. 2006].

Według szacunków globalna całkowita konsumpcja mięsa *per capita* do roku 2050 zwiększy się z 41,6 do 50,3 kg, tzn. o 20,9% (tab. 1). Z kolei spożycie mięsa drobiowego zwiększy się o 36,4%, baraniny – o 57,1%, wieprzowiny – o 10,7%, zaś wołowiny – jedynie o 6,5%. Bazowa globalna konsumpcja mięsa będzie wynosiła niecałe 476 mln t, a roczne tempo wzrostu wyniesie 1,3%. Spożycie mięsa przeżuwaczy wyniesie 124 mln t, zaś nieprzeżuwaczy 352 mln t. Zasadniczo spożycie *per capita* zwiększy się we wszystkich regionach, z wyjątkiem Ameryki Północnej i Europy, w której pozostanie niezmiennione [Revell 2015].

#### ŚLAD WODNY W PRODUKCJI ZWIERZĄT RZEŻNYCH

Rzeczywiste zapotrzebowanie na wodę zależy od gatunku, wieku, masy zwierzęcia, jak również paszy i systemu utrzymania. Biorąc pod uwagę globalny ślad wodny dla poszczególnych zwierząt rzeźnych, wykazano, że bydło mięsne stanowiło największy udział (33%), następnie świnie (19%) i broilery kurzące (11%). Przeciętny życiowy ślad wodny dla tych zwierząt wynosi odpowiednio 1889, 390 i 6 m<sup>3</sup>/szt. [Mekonnen i Hoekstra 2012].

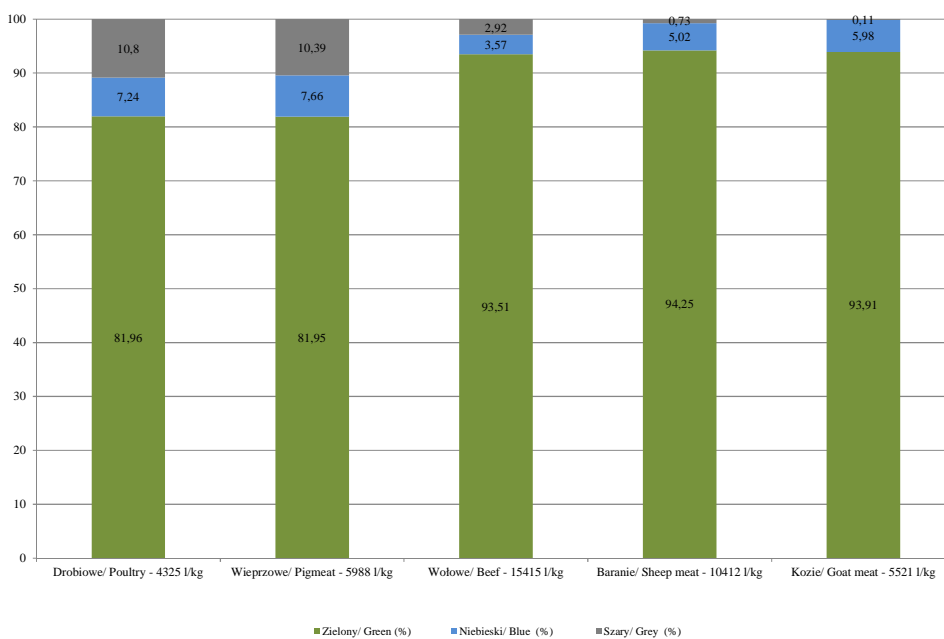
Są dwa główne czynniki determinujące ślad wodny dla produkcji mięsa. Pierwszy czynnik stanowi efektywność konwersji paszy; czynnik ten odzwierciedla ilość paszy potrzebną do produkcji określonej ilości mięsa. Ponieważ zwierzęta utrzymywane w systemach pastwiskowych mogą być zasadniczo użytkowane dłużej do osiągnięcia pożądanej masy ubojowej, konsumują one więcej paszy (białka) ulegającej zamianie w mięso. Z tego powodu efektywność konwersji paszy jest najmniejsza w systemach pastwiskowych, zwiększa się w systemach mieszanych, a największa jest w systemach przemysłowych, gdzie osiąga najmniejszy ślad wodny.

Tabela 1. Prognozowane spożycie mięsa do roku 2050  
Table 1. Consumption of meat projected to 2050

Wyszczególnienie Specification		Revell [2015]			Alexandratos i Bruinsma [2012]	
		2010	2050	Roczny wzrost (%) Annual gain (%)	2050	Roczny wzrost (%) Annual gain (%)
Spożycie <i>per capita</i> (kg) Consumption <i>per capita</i> (kg)	wołowina beef	9,3	9,9	–	–	–
	drób poultry	14,3	19,5	–	–	–
	wieprzowina pork	15,9	17,6	–	–	–
	baranina mutton	2,1	3,3	–	–	–
	razem total	41,6	50,3	–	–	–
	przeżuwacze ruminants	11,4	13,2	–	–	–
	monogastryczne monogastric	30,2	37,1	–	–	–
Spożycie ogółem (mln ton) Consumption in total (mln tonnes)	wołowina beef	64,6	93,3	0,9	105,3	1,2
	drób poultry	98,7	185,1	1,6	178,8	1,5
	wieprzowina pork	109,9	166,6	1,0	141,4	0,8
	baranina mutton	14,2	30,8	1,9	24,4	1,8
	razem total	287,4	475,8	1,3	450,0	1,3
	przeżuwacze ruminants	78,8	124,1	–	129,7	–
	monogastryczne monogastric	208,6	351,7	–	320,2	–
Udział w spożyciu (%) Share in consumption (%)	wołowina beef	22,5	19,6	–	–	–
	drób poultry	34,3	38,9	–	–	–
	wieprzowina pork	38,2	35,0	–	–	–
	baranina mutton	5,0	6,5	–	–	–
	przeżuwacze ruminants	27,5	26,1	–	–	–
	monogastryczne monogastric	72,5	73,9	–	–	–

Drugim czynnikiem wpływającym na ślad wodny dla mięsa jest skład paszy spożywanej przez zwierzęta w każdym systemie. Ponieważ ilość koncentratów paszowych zwiększa się w kolejnych wymienionych systemach, zwiększa się zatem i ślad wodny, natomiast zwiększenie w konsumpcji udziału pasz objętościowych (trawa, produkty uboczne i rośliny pastewne) prowadzi do zmniejszenia śladu wodnego. Zwiększenie udziału koncentratów paszowych i zmniejszenie pasz objętościowych, począwszy od systemów pastwiskowych, przez mieszane, aż do przemysłowych, powoduje mniejszy ślad wodny w dwóch pierwszych systemach, zaś zwiększa ślad wodny w systemach przemysłowych, zwłaszcza w odniesieniu do wody niebieskiej i szarej. Związane jest to z faktem, że ślad wodny koncentratów paszowych jest większy w porównaniu z paszami objętościowymi.

Ponieważ korzystna efektywność konwersji paszy zmniejsza wielkość śladu wodnego w systemach przemysłowych, relatywnie wysoki udział koncentratów paszowych względem pasz objętościowych zwiększa ślad wodny w tych systemach; wpływ netto zależy od relatywnego znaczenia dwóch czynników, które są zróżnicowane w zależności od typu lub gatunku zwierząt i od kraju. Produkcja mięsa kurcząt jest efektywna ze względu na korzystny współczynnik konwersji paszy, lecz jednocześnie wymaga dużego udziału koncentratów w paszy. Udział ten wynosi 73% dla brojlerów drobiowych (średnia światowa), zaś dla bydła mięsnego jedynie 5% [Mekonnen i Hoekstra 2012].



Rys. 3. Globalny przeciętny ślad wodny (l/kg) i udział (%) wody zielonej, niebieskiej i szarej dla mięsa zwierząt rzeźnych [Gerbens-Leenes i in. 2011, Mekonnen i Hoekstra 2012]

Fig. 3. The average global water footprint (L/kg) and percentage of green, blue and grey water for meat from livestock [Gerbens-Leenes *et al.* 2011, Mekonnen and Hoekstra 2012]



Szacunkowa ilość wody (l/dzień) niezbędna do pojenia zwierząt w omawianych systemach utrzymania waha się od 20 do 33 dla bydła mięsnego, od 8 do 14 dla tuczników, od 6 do 7,6 dla owiec i 0,18 dla brojlerów kurzych. W przypadku wody do obsługi ilość ta waha się odpowiednio od 5 do 11 dla bydła mięsnego, od 25 do 50 dla tuczników, od 1,3 do 5 dla owiec i 0,10 dla brojlerów kurzych [Chapagain i Hoekstra 2003, Mekonnen i Hoekstra 2010]. Sumarycznie całkowity udział wody przeznaczonej do pojenia i obsługi zwierząt wynosi jedynie 1,1 i 0,8% [Mekonnen i Hoekstra 2010].

Na rysunku 3 przedstawiono w ujęciu globalnym przeciętny ślad wodny (l/kg) i udział wody zielonej, niebieskiej i szarej (%) dla mięsa zwierząt rzeźnych. Przeciętny ślad wodny dla mięsa zwiększa się, począwszy od mięsa drobiowego (4325 l/kg), przez mięso kozie (5521 l/kg) i wieprzowinę (5988 l/kg), aż do baraniny (10 412 l/kg) i wołowiny (15 415 l/kg). Różnice te mogą być częściowo wyjaśnione różną efektywnością konwersji paszy u poszczególnych gatunków zwierząt. Stąd też ważnym czynnikiem jest skład paszy, a zwłaszcza udział koncentratów paszowych w ogólnej ilości zadawanej paszy, które generalnie charakteryzują się większym śladem wodnym niż pasze objętościowe. Udział poszczególnych typów wody (zielona, niebieska i szara) istotnie różnił się dla mięsa zwierząt monogastrycznych i mięsa przeżuwaczy. Istotnie wyższy udział wody zielonej, niższy natomiast niebieskiej i szarej wystąpił w przypadku mięsa przeżuwaczy. Większy udział wody niebieskiej i szarej w grupie zwierząt monogastrycznych związany jest z większym spożyciem przez te zwierzęta (drób i świnię) zbóż i koncentratów paszowych.

Przykład oszacowania przez Hoekstrę [2010] średniego globalnego śladu wodnego dla wołowiny uzyskanej z przemysłowego systemu produkcji. Założenia: wiek ubojowy zwierzęcia – 3 lata, produkt końcowy – 200 kg mięsa bez kości.

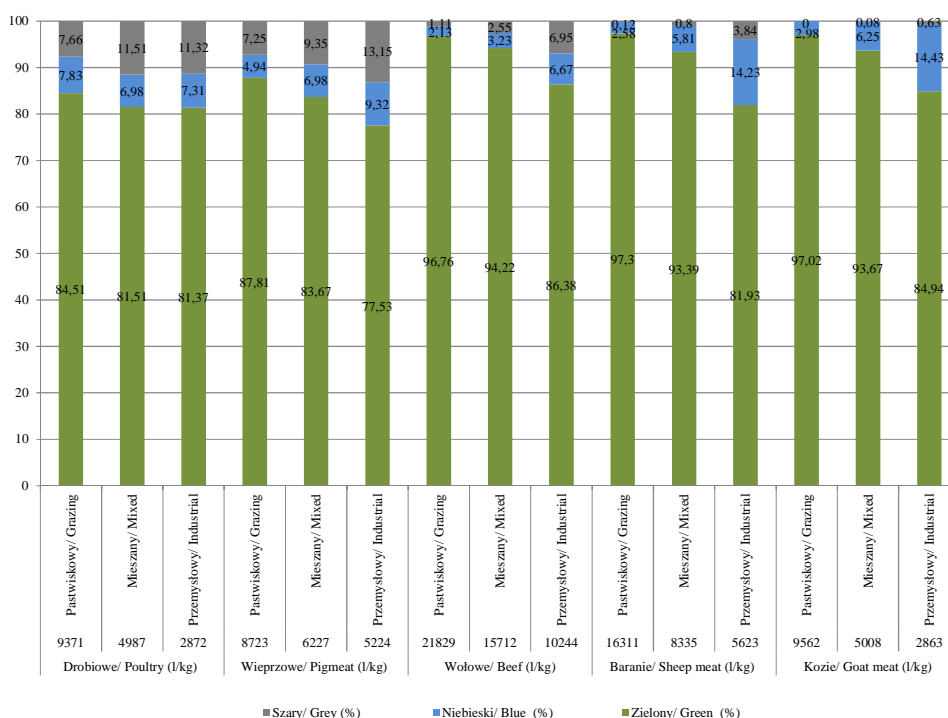
Szacunek. Zwierzę spożyło 1300 kg zbóż (pszenica, owies, jęczmień, kukurydza, ziarno grochu, mączka sojowa i inne), 7200 kg pasz objętościowych (zielonka pastwiskowa, siano, kiszonka i inne), 24 m<sup>3</sup> wody do pojenia, zużyto także 7 m<sup>3</sup> wody do obsługi. Zatem do wyprodukowania 1 kg wołowiny bez kości wykorzystano ok. 6,5 kg zbóż, 36 kg pasz objętościowych i 155 l wody (wyłącznie do pojenia i obsługi). Produkcja paszy wymagała ok. 15 300 l wody. W obliczeniach nie uwzględniono wody zanieczyszczonej jako rezultat wymywania nawozów z pól uprawnych lub zanieczyszczenia wód gruntowych przez odchody. Oczywiście ślad wodny mięsa wołowego będzie znacznie się różnił w zależności od regionu produkcji, składu paszy i pochodzenia komponentów paszowych. Ślad wodny wołowiny uzyskanej z systemu przemysłowego może częściowo zależeć od wody wykorzystanej do nawadniania (niebieska) roślin rosnących na terenach odległych od miejsca chowu. Mogą być to tereny zasobne w wodę, jak również z jej niedoborem.

Na rys. 4 przedstawiono w ujęciu globalnym przeciętny ślad wodny (l/kg) i udział wody zielonej, niebieskiej i szarej (%) dla mięsa zwierząt rzeźnych w zależności od systemu produkcji.

Całkowity ślad wodny dla mięsa jest generalnie większy w systemie pastwiskowym niż przemysłowym, co uwarunkowane jest większym udziałem wody zielonej w całkowitym śladzie wodnym. Ślady wody niebieskiej i szarej dla produktów zwierzęcych są większe w systemie przemysłowym (z wyjątkiem produktów drobiowych). Ze względu na mniejsze wykorzystanie zasobów wody słodkiej w systemach pastwiskowych pocho-

dzące z nich produkty zwierzęce są zatem bardziej preferowane niż te uzyskane w systemach przemysłowych [Mekonnen i Hoekstra 2010].

Gerbens-Leenes i in. [2011] wykazali, że w systemie pastwiskowym ślady wody niebieskiej i szarej dla mięsa drobiowego i wieprzowego były większe niż te określone dla wołowiny. Związane jest to z faktem, że produkcja mięsa wołowego w systemie pastwiskowym w większości oparta jest na wodzie zielonej. Drób i świny utrzymywane w takim systemie są natomiast nadal skarmiane 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 (lepszemu względu na ochronę zasobów wodnych) powinny być preferowane.



Rys. 4. Ślad wodny (l/kg) i udział wody zielonej, niebieskiej i szarej (%) dla mięsa zwierząt rzeźnych w zależności od systemu produkcji [Gerbens-Leenes i in. 2011, Mekonnen i Hoekstra 2012]

Fig. 4. Water footprint (L/kg) and percentage of green, blue and grey water for meat from slaughter animals depending on livestock production system [Gerbens-Leenes *et al.* 2011, Mekonnen and Hoekstra 2012]

Ślad wodny mięsa przeżuwaczy z systemu pastwiskowego będzie w większości uzależniony od wody zielonej. Jeżeli wykorzystywane pastwiska są położone zarówno na terenach suchych, jak i podmokłych i nie mogą być przeznaczone pod uprawy rolnicze,

to wody zielonej wykorzystanej do produkcji mięsa nie będzie można użyć do produkcji upraw przeznaczonych na żywność dla ludzi. Z kolei jeżeli pastwiska mogą być zamieniane na pola uprawne, woda zielona przeznaczona do produkcji mięsa nie będzie mogła być dłużej dostępna do produkcji żywności. To wyjaśnia, dlaczego ślad wodny należy traktować jako wskaźnik wielowymiarowy (woda zielona, niebieska i szara), a nie jedynie jako całkowitą wartość pojemności wody. Społeczny i ekologiczny wpływ wykorzystania wody w konkretnym miejscu zależy od niedoboru wody i alternatywnego jej wykorzystania w danej lokalizacji [Mekonnen i Hoekstra 2010].

Ostatnie badania Palhares i in. [2017] oraz Ran i in. [2017] wskazują, że ślad wodny w stadach opasowych bydła w Ameryce Południowej jest uzależniony przede wszystkim od typu spożywanej paszy i efektywności produkcyjnej zwierząt. Stosunek pasz objęściowych do koncentratów paszowych, jak również ich rodzaj mają znaczenie żywieniowe, które także istotnie wpływają na wartość WF. Generalnie cytowane badania potwierdzają zalecenia, że w żywieniu bydła opasowego należy maksymalnie wykorzystywać pasze objęściowe, z uwagi na mniejszy nacisk na zasoby słodkiej wody.

#### PODSUMOWANIE

Zasoby wody słodkiej na świecie obecnie stają się niezwykle cenne, bowiem jej niedostatek i nadmierne wykorzystanie (marnotrawstwo) prowadzą do problemów społecznych, środowiskowych i ekonomicznych. Woda słodka jest niezbędna nie tylko z uwagi na potrzeby i zdrowie ludzi, ale także jest niezastąpiona w produkcji i przetwórstwie różnych dóbr. Dlatego też należy uwzględniać racjonalny jej użytek i stosować strategie łagodzenia skutków jej niedoboru.

Zwierzęta gospodarskie odgrywają kluczową rolę w biogospodarce przez konwersję niejadalnych plonów roślinnych, resztek poźniwnych i produktów ubocznych na wysokiej wartości żywność dla ludzi. Do produkcji paszy na świecie potrzeba 2,5 mld ha ziemi, co stanowi około połowy globalnych terenów rolniczych. Większość tego arealu (2 mld ha) stanowią pastwiska, z których ok. 1,3 mld ha nie można wykorzystać jako gruntów uprawnych. Innymi słowy 57% ziemi wykorzystywanej do produkcji paszy nie jest odpowiednia do produkcji żywności.

Przy obecnym poziomie produktywności oczekiwany wzrost zapotrzebowania na żywność pochodzenia zwierzęcego będzie wymagał podwojenia arealów ziemi i wykorzystania wody. Niewątpliwie spowoduje to zwiększenie konkurencji w zakresie wykorzystywania tych zasobów.

Obecne trendy światowe w konsumpcji mięsa wymagają stałego zwiększenia udziału przemysłowych systemów wytwarzania produktów zwierzęcych, aby móc spełnić oczekiwania konsumentów. Prowadzi to jednak w konsekwencji do negatywnych skutków dla zrównoważonego rolnictwa. Jednak biorąc pod uwagę jedynie kwestię wody, obserwuje się, że wysoka produktywność systemów przemysłowych, w których efektywność konwersji paszy na mięso jest bardzo wysoka, może zrekompensować negatywne skutki wysokiej konsumpcji koncentratów paszowych, co może spowodować zmniejszenie całkowitego jednostkowego śladu wodnego dla mięsa.

## PIŚMIENNICTWO

- Alexandratos N., Bruinsma J., 2012. World Agriculture Towards 2030/2050. The 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03, Agricultural Development Economics Division, FAO, Rome, <http://www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf> (dostęp 30.03.2017).
- Allan J.A., 1993. Fortunately, there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. W: UK Overseas Development Administration, Priorities for Water Resources Allocation and Management, London, 13–26.
- Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008. Climate Change and Water. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- Busscher W., 2012. Spending our water and soils for food security. *J. Soil Water Conserv.* 67, 228–234.
- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2003. Virtual Water Flows between Nations in Relation to Trade in Livestock and Livestock Products; Value of Water Research Report Series No. 13, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2004. Water Footprints of Nations; Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz.U. L 327 z 22.12.2000, s. 1).
- FAO 2017. <http://www.fao.org/gleam/en/> (dostęp 30.03.2017).
- Foley J.A., Ramankutty N., Brauman K.A., Cassidy E.S., Gerber J.S., Johnston M., Mueller N.D., O'Connell C., Ray D.K., West P.C., Balzer C., Bennett E.M., Carpenter S.R., Hill J., Monfreda C., Polasky S., Rockström J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–343.
- 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 Research Report Series No. 55, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Gerbens-Leenes P.W., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2013. The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resour. Ind.* 1, 25–36.
- Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327, 812–818.
- Herrero M., Wiersenius S., Henderson B., Rigolot C., Thornton P., Havlik P., de Boer I., Gerber P., 2015. Livestock and the environment: what have we learned in the past decade? *Annu. Rev. Environ. Resour.* 40, 177–202.
- Hoekstra A.Y., 2010. The Water Footprint of Animal Products. W: J. D'Silva, J. Webster (red.), The meat crisis: Developing more sustainable production and consumption, Earthscan, London, UK, 22–33.
- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., 2007. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resour. Managem.* 21, 35–48.

- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M., 2011. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan, London, UK.
- Hoekstra A.Y., Hung P.Q., 2002. Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade. *International Expert Meeting on Virtual Water Trade* 12 (11), 1–244.
- ISO 14046, 2014. *Environmental Management – Water Footprint – Principles, Requirements and Guidelines*.
- Kirby R.M., Bartram J., Carr R., 2003. Water in food production and processing: quantity and quality concerns. *Food Control* 14, 283–299.
- Mancosu N., Snyder R.L., Kyriakakis G., Spano D., 2015. Water scarcity and future challenges for food production. *Water* 7, 975–992.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2010. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, *Value of Water Research Report Series No. 48*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 15, 401–415.
- OECD, 2017. Meat consumption (indicator). doi: 10.1787/fa290fd0-en (dostęp 30.04.2017).
- Palhares J.C.P., Morelli M., Junior C.C., 2017. Impact of roughage-concentrate ratio on the water footprints of beef feedlots. *Agricult. Sys.* 155, 126–135.
- Ran Y., van Middelaar C.E., Lannerstad M., Herrero M., de Boer I.J.M., 2017. Freshwater use in livestock production – To be used for food crops or livestock feed? *Agricult. Sys.* 155, 1–8.
- Revell B.J., 2015. One Man’s Meat... 2050? Ruminations on Future Meat Demand in the Context of Global Warming. *J. Agricult. Econ.* 66 (3), 573–614.
- Ridoutt B.G., Page G., Opie K., Huang J., Bellotti W., 2014. Carbon, water and land use footprints of beef cattle production systems in Southern Australia. *J. Clean. Prod.* 73, 24–30.
- Rijsberman F., 2006. Water scarcity: Fact or fiction? *Agricult. Water Managem.* 80, 5–22.
- Seré C., Steinfeld H., Groenewold J., 1995. *World Livestock Production Systems: Current Status, Issues and Trends*, FAO Animal Production and Health Paper, 127.
- Schornagel J., Niele F., Worrell E., Böggemann M., 2012. Water accounting for (agro)industrial operations and its application to energy pathways. *Resour. Conserv. Recycl.* 61, 1–15.
- 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.
- 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.
- Westhoek H., Lesschen J.P., Rood T., Wagner S., De Marco A., Murphy-Bokern D., Leip A., van Grinsven H., Sutton M.A., Oenema O., 2014. Food choices, health and environment: effects of cutting Europe’s meat and dairy intake. *Glob. Environ. Chang.* 26, 196–205.

**Summary.** Human impact on the environment has grown much faster than what was expected. What is more people consume more natural resources than what Earth is capable of regenerating. At present, the global livestock sector uses about 75% of all agricultural land, and is responsible for about 30% of global agricultural water requirements. The expected rising demand for animal sourced foods in the future can potentially amplify environmental impacts as a result of rising

incomes, growing population and urbanization. Therefore, the knowledge about water distribution for livestock production in different systems is of strategic importance. The water footprint values of meat animals are mainly determined by the type of diet and by productive efficiency of the animals. Additionally, the roughage-concentrate ratio and type of roughage significantly influence the footprint values. Having regard to the resources of fresh water, grazing systems for production of livestock for slaughter may be more preferable than industrial systems.

**Key words:** water footprint, meat, livestock, feed

Otrzymano:/ Received: 10.06.2017  
Zaakceptowano:/ Accepted: 30.08.2017