

Biogospodarka, pasze, biogaz – wybrane zagadnienia w kontekście zrównoważonego rozwoju

Janusz Wojdalski^{1,3,4}, Roman Niżnikowski^{2,3}

¹Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji

²Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Zwierzętach, Katedra Szczegółowej Hodowli Zwierząt

³Stowarzyszenie na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju Polski w Warszawie

⁴Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Energia i Środowisko w Młeczarstwie w Olsztynie

Biogospodarka jest sferą działalności obejmującą produkcję i przetwarzanie odnawialnych surowców biologicznych oraz przemiany powstających w procesie ich przetwarzania odpadów w produkty o wartości dodanej, jak np. żywność, bioprodukty, pasze i bioenergia (rys. 1). Obejmując swoim zasięgiem rolnictwo, leśnictwo, chów i hodowlę zwierząt, przemysł rolnospożywczy, biotechnologię, przemysł chemiczny i energetykę, biogospodarka wpisuje się w zrównoważony i trwały rozwój (*sustainable development*).



Rys. 1. Elementy biogospodarki

Agroekosystem (jako układ ekologiczny poddany stałemu działaniu agrotechnicznemu człowieka, różniący się od naturalnych ekosystemów tym, że główną rolę wśród producentów spełniają rośliny uprawne) wraz z przemysłem rolnospożywcym są ściśle związanymi komponentami życia gospodarczego wraz z licznymi uwarunkowaniami natury biotechnicznej. Mianem zrównoważonego określa się taki rozwój społeczno-gospodarczy, w którym występuje integracja działań gospodarczych i społecznych z zachowaniem praw człowieka, równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych i środowiskowych, i mając na celu zapewnienie realizacji potrzeb obecnej gene-

racji bez naruszania możliwości zaspokajania potrzeb następnych pokoleń [75].

W odniesieniu do sektora rolno-spożywczego, zrównoważony rozwój wymusza dążenie do pozyskiwania surowców pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, ich przetwarzania oraz dystrybucji gotowych produktów spożywczych z nadzręcznym celem zapewnienia odpowiedniej jakości i bezpieczeństwa zdrowotnego żywności, jak również systematyczną identyfikacją i monitorowaniem kluczowych aspektów środowiskowych w całym łańcuchu żywnościowym. Przemysł rolnospożywczy jest podzielony na 21 branż. Specyfika branżowa może stanowić zróżnicowane pod względem uciążliwości źródło zagrożeń dla poszczególnych elementów środowiska naturalnego – gleby, wody, powietrza, roślin, zwierząt i człowieka. W porównaniu z innymi gałęziami przemysłu, w korzystaniu ze środowiska oraz pod względem stopnia oddziaływania na środowisko zakłady poszczególnych branż tego przemysłu wyróżniają się znacznym i jednocześnie zróżnicowanym zużyciem wody na jednostkę produktu, uciążliwymi ściekami o wysokim BZT₅, wytwarzaniem odpadów oraz hałasem emitowanym przez urządzenia i instalacje produkcyjne. Przetwórstwo owocowo-warzywne i ziemniaczane oraz cukrownictwo charakteryzują się sezonowością produkcji i istotnie mogą wpływać na wielkość obciążeń środowiska. Podmioty tworzące agroekosystem i przemysł rolnospożywczy mają obowiązek zapobiegania zagrożeniom środowiska lub ich ograniczenia. Struktura polskiego przemysłu rolnospożywczego charakteryzuje się dość dużym stopniem rozproszenia oraz dużą liczbą małych i średnich zakładów. Zadaniem w zakresie ochrony środowiska wymaganym od zakładów przetwórstwa żywności jest zmniejszanie energochłonności produkcji, ograniczenie poboru wody, zmniejszanie ilości ścieków, emisji zanieczyszczeń do powietrza oraz wdrażanie technologii małodopadowych lub bezodpadowych. Nowe rozwiązania technologiczne i innowacje mogą doprowadzić do zmniejszenia skutków oddziaływania instalacji produkcyjnych lub całego zakładu na środowisko [73]. Istotną pomoc mogą stanowić poradniki z zakresu stosowania najlepszych dostępnych technik produkcyjnych (BAT), które wprawdzie nie mają charakteru obligatoryjnego, lecz dostarczają wiedzy uwzględniającej najnowsze wyniki badań naukowych oraz różne rozwiązania zweryfikowane w podobnych zakładach danej branży [25]. Kontrola poszczególnych etapów procesu technologicznego i analiza możliwości wdrażania usprawnień mogą doprowadzić do zmniejszenia skutków oddziaływania procesu produkcyjnego, a tym samym poszczególnych instalacji produkcyjnych lub całego zakładu na środowisko.

Celem pracy jest przedstawienie wybranych przykładów uwzględniających przepływy materiałów i energii w biogospodarce, obejmujących różne obiekty gospodarki żywnościowej (w tym zakłady kilku branż przemysłu rolnospożywczego) i odbiorców energii. Ponadto podano zwięzłą charakterystykę najważniejszych aspektów pracy obiektów biogospodarki mających wpływ na stan środowiska oraz przytoczono najnowszą dostępną literaturę z zakresu zrównoważonej gospodarki energią i środowiskiem w przetwórstwie rolnospożywczym i produkcji pasz oraz dotyczącą produkcji biogazu.

Powiązania podmiotów i przemieszczanie nośników energii w agroekosystemie i biogospodarce

Rolnictwo łącznie z chowem i hodowlą zwierząt stanowią naturalną podstawę agroekosystemu. Przemysł rolnospożywczy oraz zakłady utylizacyjne i produkcji żelatyny, wykorzystując surowce pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego stają się współuczestnikami przemian materiałów i energii. Uwzględniając powiązania z rolnictwem i uwarunkowania lokalizacyjne zakładów produkcyjnych można uwzględnić najważniejsze przepływy materiałowe i energetyczne oraz emisję odpadów i zanieczyszczeń. Ze względu na złożony charakter proble-

jęcia: „gospodarka o obiegu zamkniętym”, „odzysk” i „recykling”. Oznaczają one różne działania nie polegające na pełnym lub częściowym wykorzystaniu odpadów lub umożliwiające odzyskanie z odpadów substancji, materiałów lub nośników energii i ich wykorzystaniu. Forma odzysku (recykling) polega na powtórным przetworzeniu substancji lub materiałów zawartych w odpadach poprodukcyjnych, w celu uzyskania substancji lub materiałów o przeznaczeniu pierwotnym lub innym (w tym recykling organiczny), z wyjątkiem odzysku energii. W zakładach przemysłu rolnospożywczego lub w biogazowniach występują możliwości kogeneracji (tj. skojarzonej gospodarki energią; CHP – *Combined Heat and Power*), która jest procesem technologicznym jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i użytkowej energii cieplnej, zazwyczaj w elektrociepłowni [6], do której są kierowane strumienie 20.

Zarys problematyki energetycznej i materiałowo-odpadowej w produkcji trzody chlewnej (33) zawarto w tabelach 1. i 2., natomiast zużycie energii i wody w zakładach produkcji pasz przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 1
Zużycie materiałów w gospodarstwach zajmujących się produkcją trzody chlewnej [14]

Rodzaj	Zużycie w gospodarstwach utrzymujących	
	maciory (w przeliczeniu na rok)	tuczniaki (w przeliczeniu na cykl)
Pasza (Mg/szt.)	1,2-1,5	0,27-0,40
Woda (m³/szt.)	21,7-36,2	1,5-5,4
Woda do celów sanitarnych (m³/szt.)	3,2-9,6	0,60-2,16
Słoma (Mg/szt.)	0,2-0,4	

1 Mg = 1 tona

Tabela 2
Pozostałości powstające w gospodarstwach zajmujących się produkcją trzody chlewnej [14]

Rodzaj (kod 020106)	Ilość
Gnojowica – maciory (m³/szt./rok)	3,7-5,1
Gnojowica – młodzię i tuczniaki (m³/szt./cykl)	0,5-1,5
Obornik – maciory i knury (Mg/szt./rok)	2,2-2-9
Obornik – młodzię i tuczniaki (Mg/szt./cykl)	0,8-1,9

Tabela 3
Wybrane wyniki badań zużycia energii przez zakłady paszowe

Ogólna charakterystyka	Jednostkowe zużycie nośnika energii	Źródło
Mała mieszalnia pasz – roczna produkcja 11,5 tys. Mg (kWh/Mg produktu)	8,5	Grochowicz, 1984 [33]; Zawiślak i Sobczak, 2014 [74]
Mała mieszalnia pasz – roczna produkcja 13,5 tys. Mg (kWh/Mg produktu)	12,1	
Zakład produkujący mieszanki paszowe – produkcja 2624-3090 Mg/tydzień (MJ/Mg produktu)	192,7-211,5	Makarewicz, 2013 [50] i badania własne

Gospodarka wodno-ściekowa i zagospodarowanie odpadów

Zakłady przemysłu rolnospożywczego zaopatrują się w wodę korzystając głównie z własnych ujęć wód podziemnych. W niektórych zakładach może ono stanowić do 50% całkowitego

Tabela 4
Wyniki badań zużycia wody w wybranych zakładach przemysłu rolnospożywczego

Zakład produkcyjny	Jednostkowe zużycie wody	Źródło
Mleczarski (m³/m³ mleka)	1-10*	Wojdalski i wsp., 2013 [71]
Paszowy (m³ wody/Mg tuńczyka)	8,8	Uttamangkabovorn i wsp., 2005 [65]
Paszowy (dm³/Mg mieszanek paszowych)	22,2-33,7	Makarewicz, 2013 [50] i badania własne
Mięsny – ubój i zamrażanie (m³/Mg produktu)	4,93	badania własne

*zależnie od struktury przerobu mleka

zużycia wody. Równie duży udział może mieć zużycie wody na cele chłodnicze, zwłaszcza w niektórych zakładach mleczarskich. Ścieki pochodzące z zakładów przemysłu spożywczego powstają na różnych etapach obróbki surowców i procesów technologicznych. Ilość i rodzaj ścieków uwarunkowane są specyfiką branży, składem chemicznym przerabianych surowców, technologią i sezonowością produkcji, jak też ilością zużywanej wody, np. ścieki z zakładów mleczarskich zawierają znaczne ilości tłuszczów odpadowych. Przyczyny dużej zmienności zapotrzebowania na wodę w zakładach tej branży nie zostały w pełni wyjaśnione. W tabeli 4. przedstawiono wyniki badań zużycia wody w zakładach kilku branż przemysłu rolnospożywczego.

Zróżnicowane pod względem rodzaju i składu odpady powstają w każdej z branż przetwórstwa żywności. Dominują odpady organiczne pochodzenia zwierzęcego, roślinnego oraz odpady opakowaniowe. Zależnie od branży, praktyki gospodarowania odpadami mogą się różnić między sobą. Kierunki zagospodarowania pozostałości produkcyjnych są następujące:

- wykorzystanie rolnicze (poz. 31 – rys. 2)
- wykorzystanie do produkcji pasz (poz. 27 – rys. 2)
- wykorzystanie do celów energetycznych (pelety, opał, fermentacja metanowa i produkcja biogazu lub biometanu [26], fermentacja alkoholowa i dodatek etanolu do paliw ciekłych (np. poz. 16, 19, 26 – rys. 2).

Największe ilości odpadów organicznych pochodzenia roślinnego powstają w cukrowniach: głównie odpadowa masa roślinna, błoto splawiakowe, wysłodki buraczane, szlam defekosaturacyjny (poz. 35 – rys. 2). Mogą być częściowo przeznaczone na cele rolnicze (poz. 31 – rys. 2). Odpadowa melasa jest surowcem w branży spirytusowo-drożdżowej (poz. 17 – rys. 2). Odpady z przetwórstwa owoców i warzyw są przeznaczane na pasze oraz do pozyskiwania pektyn, destylatów owocowych, aromatów i barwników. Głównym odpadem produkcyjnym w zakładach mleczarskich jest serwatka, której tylko do 20% wykorzystuje się m. in. na cele paszowe czy przetwórcze, a powstaje jej 0,76-0,86 Mg/Mg surowca [45].

Gęstwa drożdżowa może być stosowana do otrzymywania hydrolizatów drożdżowych i produkcji pasz [61]. Największe problemy z zagospodarowania odpadami dotyczą przetwórstwa mięsnego, branży drobiarskiej i utylizacyjnej [42].

W zakładach przemysłu spożywczego istotnym zagadnieniem są odpady opakowaniowe z drewna, aluminium, szkła i tworzyw sztucznych. Ok. 60-70% produkowanych materiałów opakowaniowych wykorzystuje się do pakowania produktów żywnościowych. W efekcie powstają odpady z polimerów nie ulegających biodegradacji (polietylen, PET, polipropylen, polistyren).

W gospodarce rynkowej można wykorzystać wskaźnik śladu węglowego – CF (ang. *Carbon Footprint*), określany jako łączna ilość emisji gazów cieplarnianych wyrażona w ekwiwalentach dwutlenku węgla (CO₂) w odniesieniu do otrzymanego produktu albo realizowanego procesu lub usługi, z uwzględnieniem cyklu życia tego produktu łącznie z jego składowaniem i unieszkodliwianiem [40, 41, 68]. Podobne wskaźniki dotyczą tzw. śladu wodnego [21, 39, 53, 59, 66, 67 76]. Analiza cyklu życia – LCA (ang. *Life Cycle Assessment*) ma na celu ocenę potencjalnych zagrożeń środowiska. Istotą jej jest nastawienie na ocenę wyniku końcowego danego procesu technologicznego i oszacowanie konsekwencji całego procesu dla środowiska naturalnego. W tabeli 5. przedstawiono przykłady publikacji poświęcone analizom LCA dla różnych produktów żywnościowych.

Tabela 5
Przydatność metody LCA w kontekście zrównoważonego rozwoju i wdrażania metod czystszej produkcji

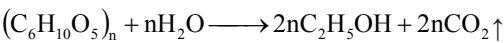
Omawiane zagadnienia	Źródła
Chów i hodowla zwierząt, pasze, produkcja i przetwórstwo mięsa	Borys, 2011 [8], Borys i wsp., 2013 [9], Brzóska, 2004 [11], Grześkowiak i wsp., 2010 [35], Fritzson i Berntsson, 2006 [29], Kowalski i Krupa-Zuczek, 2007 [42], Niżnikowski i wsp., 2018 [56]
Produkcja i przetwórstwo mleka	Alves i wsp., 2014 [1], Atkins i wsp., 2010 [2], Berlin, 2002 [5], Dvarionienė i wsp., 2012 [23], Flysjö i wsp., 2011 [27], Depping i wsp., 2017 [17], Hospido i wsp., 2003 [38]
Przetwórstwo drobiarskie	Davis i Sonesson, 2008 [16], Ghasempour i Ahmadi, 2016 [31]
Różne produkty żywnościowe, straty żywności	Steinhoff-Wrześniewska i wsp., 2011 [61], Thyberg i Tonjes, 2016 [63]
Biopaliwa, wykorzystanie biomasy	Blottnitz i Curran, 2006 [7], Brlek i wsp., 2012 [10], Dodić i wsp., 2010 [19], Escobar i wsp., 2009 [24]
Wskaźniki i wyznaczniki zrównoważonego rozwoju	Dorward, 2013 [20], Hák i wsp., 2016 [36], Strezov i wsp., 2017 [62]
Zastosowanie metody badań, krytyczne aspekty dotyczące metod badawczych LCA, zmniejszanie emisji zanieczyszczeń	Baumgartner, 2011 [3], Baumgartner i Zielowski, 2007 [4], Djekić i wsp., 2014 [18], Fredga i Mäler, 2010 [28], Grzesik, 2006 [34], Henningsson i wsp., 2004 [37]

W niewielkim stopniu są zbadane możliwości wystąpienia awarii w zakładach przemysłu spożywczego i ich wpływu na środowisko [70].

Przetwórstwo surowców biologicznych i zastosowanie produktów w celach spożywczych, paszowych i energetycznych

Przetwarzanie surowców na przykładzie kukurydzy

Kukurydza jest jednym z ważnych źródeł węglowodanów przerabianych na cele spożywcze, paszowe i energetyczne [30]. Z wielocukru (skrobi) otrzymuje się alkohol etylowy, według uproszczonego zapisu:



Głównymi produktami przemian surowców roślinnych – źródeł węglowodanów, są etanol (alkohol etylowy) i dwutlenek węgla oraz wywar. Wywar (jako tzw. ciecz wyczerpana) jest produktem ubocznym powstającym przy produkcji alkoholu etylowego (spirytusu), najczęściej z ziarna kukurydzy, do celów spożywczych [13]. Suszony wywar gorzelniany z substancjami rozpuszczalnymi jest w skrócie oznaczany jako DDGS (ang. *dried distillers grains with solubles*). Wywar kukurydziany DDGS powstaje przy produkcji etanolu z ziaren zbóż, w tym przypadku kukurydzy. Produkt zawiera do 31% białka, a drożdże biorące udział w fermentacji także wytwarzają białko, o wyższej wartości biologicznej. DDGS może być stosowany w żywieniu bydła, trzody chlewnej i drobiu [44]. Skład kukurydzy decyduje zarówno o efektywności procesu produkcji etanolu, jak też o właściwościach półproduktów i wywaru [43]. W ziarnie kukurydzy jest 65% skrobi, natomiast ziarno kiszone (z dodatkiem preparatu LACTOZYM) w zależności od zawartości wody zawiera jej od 44,5 do 55% [51]. W tabeli 6. przedstawiono skład chemiczny ziarna kukurydzy, mający istotny wpływ na przemysłowe i energetyczne wykorzystanie oraz na efektywność przemian. Właściwości te są związane z zapotrzebowaniem na nośniki energii do przerobu i konsekwencjami braku ich dostarczenia do zakładu produkcyjnego.

Przy produkcji etanolu istotnego znaczenia nabiera problem zagospodarowania produktu ubocznego powstającego po fermentacji i oddestylowaniu alkoholu. Wywar bezpośrednio po produkcji zawiera ok. 5-8% suchej substancji i z tego powodu jego okres przydatności do spożycia/zagospodarowania jest krótki, ze względu na możliwość szybkiego porostu pleśni. Odprowadzanie go bezpośrednio na pola może stanowić nadmierne obciążenie środowiska naturalnego [58]. Istnieją jednak technologie umożliwiające jego racjonalne zagospodarowanie. Produkt ten występuje jako mokry prasowany (o zawartości 35-40% suchej substancji) pod nazwą WDGS (ang. *wet distillers grains with solubles*) i suszony w formie peletów [60].

Wywar mokry (WDGS) szybko ulega procesom degradacji i wymaga konserwacji. Ostatnim etapem przerobu jest długotrwałe suszenie w niskich temperaturach, w wyniku czego otrzymuje

się DDGS. Wywar zbożowy wysuszony bez odcieku nosi nazwę DDG (ang. *dried distillers grains*). Produkcja DDGS w po-

Tabela 6
Skład chemiczny (%) kukurydzy [55]

Składniki	Całe ziarniaki	Bielmo	Zarodki	Okrywa	Część nasadowa
Sucha masa	100,0	82,0	12,0	4,0	2,0
Skrobia, cukry	73,3	85,0	9,0	9,0	10,0
Białko	10,0	12,0	28,0	7,0	12,0
Lipidy	4,4	1,6	38,0	1,0	4,0
Włókno	2,4	1,0	15,0	79,0	60,0
Popiół	1,3	0,4	10,0	4,0	14,0

równaniu z DDG polega na powtórным dodaniu do wywaru syropu CCDS (ang. *condensed corn distillers solubles*) przed ostatecznym (całkowitym) wysuszeniem. Od ilości komponentu CCDS zależy wartość pokarmowa DDGS [44]. Obok użytego surowca (kukurydzy) jest to jeden z czynników wpływających na zmienność w składzie chemicznym i wartości pokarmowej DDGS. Na wymieniony skład i wartość pokarmową ma także wpływ różna masa surowca. DDGS powstaje też z wykorzystaniem np. pszenicy, jęczmienia czy pszenżyta. W Polsce wzrasta produkcja suszonego wywaru zbożowego. Powstały duże zakłady produkujące alkohol etylowy z ziarna pszenicy oraz z wilgotnego ziarna kukurydzy. Łączna moc przerobowa tych zakładów będzie wynosiła ponad 900 tys. ton rocznie. Jeżeli etanol jest otrzymywany z mieszanych surowców, np. zbóż i innych produktów zawierających cukry lub skrobię, otrzymuje się produkt uboczny pod nazwą DW (ang. *distiller's wash*), będący wywarem podestylacyjnym wypłukanym w formie prasowanej lub suszonej. Skład chemiczny i wartość pokarmowa suszonego wywaru zależy głównie od składu chemicznego surowca. Charakterystyczną właściwością DDGS jest wysoka zawartość białka ogólnego (30-40% w suchej substancji). W krajowych DDGS produkowanych z ziarna kukurydzy zawartość białka mieści się w granicach 23,5-35,3%, zaś w DDGS z żyta białka jest 28,5-33,8%. Suszone wywary są traktowane jako pasze białkowe, mimo iż zawierają także sporą ilość energii netto (9,42 MJ/kg). DDGS może także być stosowany w celach energetycznych (paliwowych [12]). Właściwości DDGS w porównaniu z innymi źródłami energii przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7
Porównanie wybranych właściwości DDGS z innymi paliwami [46]

Parametr	DDGS	Węgiel kamienny (KWK Janina)	Węgiel brunatny (KWK Turów)	Śloma rzepakowa
Zawartość wilgoci całkowitej (%)	6,9	19,2	56,1	10,1
Zawartość popiołu (%)	5,6	8,2	16,4	4,6
Wartość opałowa (MJ/kg)	18,569	22,081	8,084	15,232
Całkowita zawartość siarki (%)	0,77	1,06	1,82	0,14
Zawartość węgla (%)	50,7	72,3	57,2	48,0

W Polsce przez wiele lat tradycyjnym surowcem używanym do produkcji alkoholu były ziemniaki i żyto, rzadziej pszenica. Rozpoczęcie krajowej produkcji alkoholu z ziarna kukurydzy spowodowało również pojawienie się na rynku DDGS – produktu ubocznego z tego surowca. Wyprodukowany susz należy przechowywać w warunkach niskiej wilgotności względnej. W pomieszczeniach zbyt wilgotnych susz pleśnieje i wówczas mogą pojawić się niepożądane mikotoksyny, które nie ulegają zniszczeniu w procesie technologicznym. DDGS jako produkt białkowo-energetyczny może być stosowany jako komponent mieszanek pasz treściwych [44].

Wydajność produkcji etanolu z różnych surowców

W tabeli 8. zestawiono różne surowce wykorzystywane w produkcji etanolu wraz z zakresami wydajności.

Produkcja biogazu rolniczego w Polsce

Produkcja biogazu rolniczego w Polsce ma możliwości rozwoju ze względu na szeroko dostępne zaplecze surowcowe oraz

Tabela 8
Praktyczne wydajności etanolu uzyskiwane w gorzelniach rolniczych i zakładach spirytusowych w wyniku przerobu różnych surowców [49, 69]

Nazwa surowca	Wydajność etanolu (dm ³ /100 kg)	Nazwa surowca	Wydajność etanolu (dm ³ /100 kg)
Buraki cukrowe	7,0 – 9,0	Peluszka	20,0 – 24,0
Buraki ćwikłowe	do 4,0	Pieczywo wycofane z obrotu	15,0 – 37,7
Buraki Poly-Past	4,5 – 8,0	Płatki ziemniaczane	35,0 – 37,0
Cebula	do 5,2	Proso	36,0 – 40,0
Chrzan	do 9,0	Pszenica	34,0 – 39,0
Cykoria świeża	6,0 – 11,0	Ryż	35,0 – 45,0
Cykoria suszona	do 30,0	Serwatka*	1,0 – 2,5
Fasola	20,0 – 24,0	Soja	ok. 12,0
Groch	19,0 – 24,0	Sorgo	ok. 40,0
Jabłka	3,5 – 6,0	Susz ziemniaczany	28,0 – 33,0
Jęczmień	31,0 – 34,0	Szlamy krochmalnicze	15,0 – 30,0
Kasztany	do 27,0	Śliwki	4,5 – 6,0
Kompoty	5,0 – 9,0	Tapioka	25,0 – 40,0
Kukurydza	36,0 – 40,0	Topinambur	7,0 – 9,0
Łubin	3,5 – 5,0	Wyka	16,0 – 24,0
Marmolady	20,0 – 30,0	Wytłoki jabłkowe	5,0 – 9,0
Melasa	do 31,0	Ziemniaki	8,0 – 12,0
Owies	ok. 24,0	Żyto	31,0 – 37,0

*Ze 100 dm³

realizowaną w Unii Europejskiej strategię rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE). Materiały źródłowe i publikacje dotyczące tej tematyki powstają w różnych ośrodkach i wymagają usystematyzowania. Biogaz rolniczy jest to gazowy produkt reakcji otrzymywany w procesie fermentacji metanowej surowców pochodzenia rolniczego, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, odpadów, produktów ubocznych lub pozostałości z przetwórstwa surowców biologicznych, biomasy leśnej lub roślinnej zebranej z terenów innych niż zaewidencjonowane jako rolne lub leśne, z wyłączeniem biogazu pozyskanego z surowców pochodzących z oczyszczalni ścieków oraz składowisk odpadów. W tabelach 9. i 10. przedstawiono przykłady substratów i wydajności otrzymywanego metanu.

Strategia „Biogazownia w każdej gminie” zakłada, że do 2020 roku powstanie w Polsce ponad 2000 biogazowni rolniczych. Rzeczywisty stan odbiega od planów. Na rysunku 3. przedstawiono lokalizację biogazowni rolniczych.

W Polsce funkcjonują obecnie 302 biogazownie (składowiskowe, przy oczyszczalniach ścieków i rolnicze), o łącznej zainstalowanej mocy elektrycznej 233,3 MW, 33% tej mocy przypada na instalacje rolnicze. Według Agencji Rynku Rolnego (ARR) użytkowane są w Polsce 93 biogazownie rolnicze należące do 83 przedsiębiorstw. Łączna wydajność instalacji do wytwarzania biogazu rolniczego (zawartość metanu ok. 55-60%) wynosi około 386 mln m³/rok. Wśród nich 10 ma zainstalowaną moc produkcyjną 2 MW_e i więcej, 28 – od 1 do 1,99 MW_e, a dominującą grupę 55 obiektów stanowią biogazownie poniżej 1 MW_e. Produkcja biogazu jest nadal uznawana za jeden z przyszłościowych kierunków energetycznego wykorzystania biomasy. Ustawa o OZE zakłada stworzenie listy substratów, które mogą posłużyć do wytwarzania biogazu rolniczego lub wytwarzania energii elektrycznej. Zakłada też uznanie za biogaz gazu wysypiskowego – produktu prze-

Tabela 9
Wydajność metanu z wybranych odpadów przemysłowych [48]

Rodzaj odpadów	Skład materiału organicznego	Zawartość materiału organicznego (%)	Wydajność metanu (m³/Mg)
Marmolada	90% cukru, kwasy organiczne	50	300
Serwatka	75-80% laktozy i 20-25 % białka	7-10	40-55
Olej sojowy/margaryna	90% oleju roślinnego	90	240
Treść żołądkowa i jelitowa	węglowodany, białka, lipidy	15-20	40-60
Osady oleju rybnego	30-50% lipidy i inne substancje organiczne	80-85	450-600
Segregowane odpady organiczne z gospodarstw domowych	węglowodany, białka, lipidy	20-30	150-240
Osad ściekowy	węglowodany, białka, lipidy	3-4	17-22
Zatężony osad ściekowy	węglowodany, białka, lipidy	15-20	85-110
Zaolejony bentonit	70-75% lipidy, 25-30% innych substancji organicznych	40-45	350-450

Tabela 10
Uzysk metanu i przeciętny potencjał wybranych substratów roślinnych [32]

Roślina	Uzysk metanu (m³ CH₄/ha/rok)	Wydajność energetyczna (MWh/ha/rok)
Burak pastewny	5800	56
Kukurydza	5780	56
Trawa (średnio)	4060	39
Lucerna	3965	38
Pszenica	2960	28
Koniczyna	2530	25
Kapusta pastwna	2304	24
Ziemniaki	2280	22
Jęczmień	2030	20



Rys. 3. Rozmieszczenie biogazowni rolniczych w Polsce (opracowanie własne na podstawie danych ARR na dzień 17.11.2016)

mian powstałych z organicznej frakcji odpadów komunalnych ulegających biodegradacji oraz produktów gazowych z osadów ściekowych – wytwarzanych w wyniku procesów fermentacji metanowej z osadu tworzącego się podczas biologicznego oczyszczania ścieków. W Polsce istnieje około 200 tys. gospodarstw, w których mogą pracować mikrobiogazownie o mocy elektrycznej 10-20 kW. Odpowiada to warunkom struktury rolnictwa. Można uznać, że jest to technologia o dyspozycyjności ponad 90%, przydatna w realizacji reelektryfikacji rolnictwa i zapewnienia dostaw energii elektrycznej. Inwestorzy są jednak bardziej zainteresowani instalacjami o mocy około 1 MW.

Substraty wykorzystywane na bieżąco do produkcji biogazu

Przebadano wydajności biogazowe i biometanowe [47] ponad 1,5 tys. różnych substratów. Roczny potencjał produkcji wynosi 13,5 mld m³ biogazu, w tym 7,8 mld m³ biometanu [15]. Dostępna biomasa i odpady organiczne obejmują:

- ok. 90 mln ton obornika, gnojowicy i pomiotu [54] (masa zmienia się wraz ze zmianami pogłowia);
- 8 mln ton słomy, zbóż i rzepaku (z ogólnej liczby ponad 30 mln ton – część przeznaczona do produkcji zwierzęcej (ściółka), na pelety/brykiety i na podłoże do pieczarek);
- 4 mln ton słomy kukurydzianej;
- odpadową biomasę roślinną;
- odpady z przetwórstwa żywności z różnych branż przemysłu rolno-spożywczego;
- wycofaną z obiegu przeterminowaną żywność.

Na tej bazie potencjał produkcji wynosi ok. 13,5 mld m³ biogazu (7,8 mld m³ biometanu), czyli ok. 3640 MW mocy elektrycznej (ponad 30,5 TWh energii elektrycznej rocznie), ok. 3185 MW mocy cieplnej (ponad 96 tys. TJ ciepła rocznie).

Substraty do produkcji biogazu mają zróżnicowany skład chemiczny. W tabelach 11. i 12. wymieniono surowce wykorzystane w latach 2012-2014 do produkcji biogazu rolniczego oraz kierunki wykorzystania tego produktu.

Substratami do produkcji energii elektrycznej z biogazu rolniczego są najczęściej: gnojowica, kiszonka z kukurydzy, wywar z gorzelnii oraz pozostałości z produkcji i przetwórstwa warzyw i owoców. W roku 2014 stanowiły one około 86% łącznej masy substratów przetworzonych w biogazowniach rolniczych.

Możliwości wykorzystania biomasy do produkcji biogazu

Dokładne określenie potencjału biomasy na cele energetyczne jest trudne, z powodu braku możliwości przewidywań w dłuższym okresie czasu co do sposobu użytkowania gruntów oraz rozwoju i dostępności technologii. W Instytucie Energetyki Odnawialnej (IEO) określono potencjał ekonomiczny biogazu na rok 2020 w ilości 6,6 mld m³, co odpowiada 204 PJ. Istotnym czynnikiem rozwoju sektora biogazu jest znaczny potencjał energetycz-

Tabela 11

Surowce wykorzystywane do produkcji biogazu rolniczego Polsce w latach 2012-2014 (www.arr.gov.pl z 22.07.2015 r.)

Surowiec	Rok		
	2012	2013	2014
Gnojowica (%)	39,49	30,39	29,86
Kiszonka z kukurydzy (%)	27,33	19,18	21,67
Wywar gorzelniczy (%)	16,58	23,67	18,17
Pozostałości z przetwórstwa warzyw i owoców (%)	9,74	17,92	18,51
Wysłodki buraczane (%)	4,20	6,78	9,86
Obornik (%)	2,66	2,06	1,93
Masa łącznie (Mg)	884 064,80	1 498 968,88	1 922 333,37

Tabela 12

Produkcja biogazu rolniczego, energii elektrycznej i ciepła z biogazu rolniczego w latach 2011-2015 (www.arr.gov.pl z 17.11.2016 r.)

Rok	Ilość wytworzonego biogazu rolniczego (mln m³)	Ilość energii elektrycznej wytworzonej z biogazu rolniczego (GWh)	Ilość ciepła wytworzonego z biogazu rolniczego (GWh)
2011	36,646	73,433	82,638
2012	73,152	141,804	160,128
2013	112,412	227,890	246,557
2014	174,253	354,978	373,906
2015	206,579	429,400	224,996

ny polskiego rolnictwa, ze względu na produkty uboczne i odchody zwierzęce oraz produkty uboczne i odpady z przemysłu rolno-spożywczego, wymieniane np. w publikacji Czyżyka i wsp. [14]. Przewiduje się też prowadzenie upraw roślin energetycznych na około 700 tys. ha. Potencjał odpadów, produktów ubocznych rolnictwa oraz przetwórstwa rolno-spożywczego wynosi ok. 1,7 mld m³ biogazu rocznie, odpowiadający 847 ktoe i 35,6 PJ. Wymieniona ilość energii mogłaby pokryć zapotrzebowanie 1,2% w zużyciu energii finalnej. W projekcie REFUEL oszacowano potencjał biomasy w Unii Europejskiej. Polska jest w stanie dostarczyć 12% (2200 PJ) europejskich zdolności (17,5 EJ/rok) w zakresie biomasy energetycznej. Produkcja biomasy na cele energetyczne jest uznawana jako komplementarne źródło energii.

Równolegle, drugim źródłem może być rozwinięta produkcja zwierzęca. Na podstawie opracowania IEO można ustalić, iż duże stada zwierząt, np. 100 sztuk bydła, 500 sztuk trzody chlewnej lub 5000 sztuk drobiu, wytwarzają ilości odchodów pozwalające na zaopatrzenie biogazowni rolniczej o mocy 100 kW. Uzasadnione zatem jest tworzenie niewielkich instalacji przy dużych gospodarstwach hodowlanych, co pozwoli na równoczesną produkcję energii i nawozu naturalnego wysokiej jakości. W praktyce instalacje biogazowe powstają przy dużych gospodarstwach rolnych i zakładach przetwórstwa rolno-spożywczego. Istnieje też wysoki potencjał produkcji biogazu z oczyszczalni ścieków. Obecnie istnieje ok. 1800 przemysłowych i 1500 komunalnych oczyszczalni ścieków. Przykładowa mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków komunalnych charakteryzuje się średnim przepływem ścieków około 60 tys. m³/dobę. Powstaje tam dziennie ok. 100 ton mechanicznie odwodnionego osadu. Wynikiem jego beztlenowego rozkładu jest powstający biogaz, wymagający odsiarczenia, co stanowi dodatkowy problem. Uzysk biogazu z 1 m³ osadów ściekowych wynosi 10-20 m³.

W Polsce jest też ok. 700 czynnych składowisk odpadów, których roczna produkcja metanu może wynosić ponad 600 mln m³.

Z pracy Mirowskiego i wsp. [52] wynika, że praktycznie pozyskiwane zasoby gazu wysypiskowego nie przekraczają 30-45% łącznego potencjału.

Ekonomiczne i ekologiczne aspekty pracy biogazowni

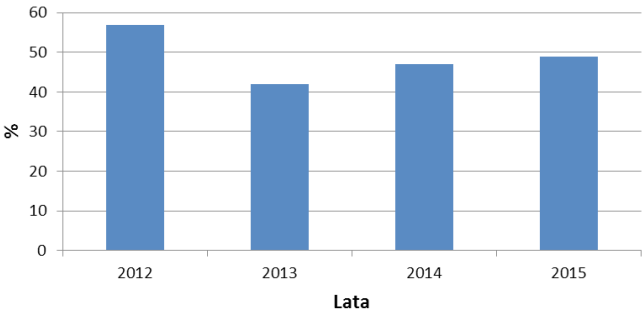
Inwestycja w biogazownię rolniczą należy do kapitałochłonnych. Ze względu na niską cenę zakupu energii i certyfikatów pochodzenia okres zwrotu inwestycji jest bardzo wydłużony. W tabeli 13. przedstawiono wybrane elementy kosztów i przewidywany okres zwrotu inwestycji w biogazowni rolniczej różnej wielkości.

Turowski i Nowowiejski [64] przedstawili analizę energetyczną gospodarstwa rolnego, w którym zastosowano układ kogeneracyjny zasilany biogazem. Cała ilość biogazu z przyfermowej biogazowni była zużywana przez silnik spalinowy, zaś ciepło i energia elektryczna uzyskana w zespole spaliniowo-elektrycznym przeznaczone były na zaspokojenie potrzeb gospodarstwa. Bilans energetyczny wykazał około 10-procentową nadwyżkę ciepła uzyskanego w systemie kogeneracyjnym ponad potrzeby analizowanego gospodarstwa.

Atrakcyjność sektora produkcji biogazu rolniczego i możliwości rozwoju

Każdy sektor w poszczególnych stadiach swojego rozwoju charakteryzuje się pewnymi cechami (kryteriami), które wpływają na jego atrakcyjność (wartość). Poprzez punktową ocenę atrakcyjności można określić cechy strukturalne sektora, siły powodujące ich zmiany, oszacować możliwości konkurentów. Metoda ta pozwala ocenić opłacalność wejścia lub wyjścia z sektora i ułatwia opracowanie odpowiedniej strategii. Ocena atrakcyjności sektora jest dokonywana na zasadzie porównania z innymi branżami. Analiza pięciu sił Portera polega na oszacowaniu konkurencyjności na rynku w pięciu wymiarach: siła rywalizacji konkurencyjnej na rynku, zagrożenie ze strony nowych wejść na rynek, zagrożenie ze strony substytutów, siła przetargowa dostawców, siła przetargowa nabywców. Poniżej przedstawiono atrakcyjność sektora za pomocą metody Portera (https://mfiles.pl/pl/index.php/Koncepcja_pi%C4%99ciu_si%C5%82_Portera), z uwzględnieniem czynników wpływających na atrakcyjność biogazowni. Wyniki analiz przedstawiono na rysunku 4. Atrakcyjny jest sektor, który ma cechy sektora idealnego lub sektorów idealnych w poszczególnych ocenianych kategoriach. Idealny sektor teoretycznie ma atrakcyj-

Atrakcyjność inwestycji w biogaz rolniczy w Polsce



Rys. 4. Zmiany atrakcyjności w sektorze biogazu rolniczego w Polsce (opracowanie własne dokonane przez zespół WIP SGGW na podstawie corocznych wyników badań publikowanych na łamach Gospodarki Materialowej i Logistyki od roku 2007; ostatnia publikacja: Zubrzycka i wsp., 2017 [77])

Tabela 13

Oszacowanie przewidywanego okresu zwrotu inwestycji w wybrane biogazownie rolnicze (opracowanie własne na podstawie danych ARR (www.arr.gov.pl z 16.06.2015 r.), TGE (<http://www.tge.pl/pl/155/raporty-miesieczne> z 10.02.2015 r.), URE (www.ure.gov.pl z 12.01.2015))

Wyszczególnienie	Rodzaj/moc biogazowni		
	10 kW	250 kW	2 MW
	Ilość energii elektrycznej wytworzonej (MWh/rok)		
	80	2000	16 000
	Ilość wytworzonej energii cieplnej (MWh/rok)		
	83,2	2080	16 640
WYKORZYSTANE SUBSTRATY (t/rok)			
wywar gorzelniczny	343,2	6630,0	53 040,0
kiszonka z kukurydzy	198,0	3825,0	30 600,0
gnojowica	66,0	1275,0	10 200,0
pozostałości z warzyw i owoców	26,4	510,0	4080,0
obornik	19,8	382,5	3060,0
inne	6,6	127,5	1020,0
Łącznie	660,0	12 750,0	102 000,0
KOSZTY			
Koszt substratów (tys. zł)			
wywar gorzelniczny	1,8	35,5	283,7
kiszonka z kukurydzy	9,9	191,2	1530,0
inne	0,5	10,2	81,6
Łącznie	12,3	236,5	1895,3
Koszty operacyjne* (bez substratów) w tys. zł	13,7	413,1	3304,6
Łącznie	38,2	886,5	5718,2
Przychód z substratów (tys. zł)			
pozostałości z warzyw i owoców	6,8	132,6	1060,8
inne	1,7	33,1	265,2
Łącznie	8,5	165,7	1326,0
Przychód ze sprzedaży energii elektrycznej i zielonych certyfikatów (tys. zł/rok)	21,1	525,4	4203,4
Przychody ze sprzedaży energii cieplnej i żółtych certyfikatów (tys. zł/rok)	9,5	238,7	1909,6
Łącznie	39,1	929,8	7439,0
DOCHODY			
Suma przychodów pomniejszona o koszty operacyjne (tys. zł/rok)	13,1	279,9	2239,0
DOFINANSOWANIE			
Koszt budowy (mln zł)	0,5	6	32
Dofinansowanie (%)	50	30	50
Przewidywane dofinansowanie (mln zł)	0,25	1,8	16
Koszt budowy pomniejszony o dofinansowanie (mln zł)	0,25	4,2	16
OKRES ZWROTU			
Przewidywany okres zwrotu (lata)	19	15	7

*Cena 1 MWh ciepła – 46,99 zł (średnia cena sprzedaży ciepła wytworzonego ze źródeł odnawialnych w 2014 r.); cena żółtego certyfikatu za 1 MWh ciepła – 106,02 zł (średnia cena z 2014 r.); cena zielonego certyfikatu 1 MWh – 133,55 zł (średnia z I połowy 2015 r.); cena 1 MWh energii elektrycznej – 172,22 zł (średnia cena z I kwartału 2015 r.)

ność 100%, praktycznie jednak sektor oceniany powyżej 65% określa się mianem atrakcyjnego.

Barierami produkcji biogazu rolniczego w Polsce są: trudności z uzyskaniem pozwolenia na budowę i przyłączenia do sieci (Miejscowe Plany Zagospodarowania Przestrzennego nie uwzględniają instalacji z OZE), długotrwała procedura przyłączenia do sieci (do 150 dni), niestabilny system certyfikatów i ich niska cena, nieuregulowane przepisy dotyczące wykorzystania masy pofermentacyjnej do nawożenia upraw, brak zaplecza technicznego, merytorycznego, słaba infrastruktura sieci gazowej, elektroenergetycznej, ciepłowniczej, brak dostępu do informacji o zasadzie działania biogazowni, a także protesty środowisk lokalnych. Istnieją jednak opracowania wykazujące pozytywny wpływ biogazowni na zmiany środowiskowe przestrzeni wiejskich [57].

Podsumowanie

Naturalne powiązania podmiotów tworzących biogospodarkę stanowią podstawę do racjonalnego wykorzystania materiałów biologicznych do produkcji żywności, pasz, biogazu i materiałów, które mogą być wykorzystywane w celach energetycznych. Podstawowym zadaniem w zakresie ochrony środowiska wymaganych od podmiotów biogospodarki, przedsiębiorstw produkcyjnych i przetwórstwa żywności jest zmniejszanie zużycia wody i odprowadzania ścieków, emisji odorów i zanieczyszczeń do powietrza oraz wytwarzania odpadów. Rozwój biogazowni rolniczych w Polsce jest szansą na realizację 20% udziału energii z OZE w energetyce. Produkcja energii z biogazu rolniczego umożliwia zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych nawet o ponad 70% (w przypadku zastosowania odchodów zwierzęcych i kiszonki kukurydzianej w stosunku 80%/20%). Polska dysponuje zapleczem różnorodnych substratów do rozwoju produkcji biogazu rolniczego, a także z biologicznej frakcji z oczyszczalni ścieków i wysypisk odpadów. Ze względu na niestabilność cen świadectw pochodzenia i niskich cen sprzedaży energii elektrycznej wyprodukowanej w biogazowniach rolniczych, okres zwrotu inwestycji w niektórych przypadkach przekracza 20 lat. Atrakcyjność sektora biogazu rolniczego jest niska, m.in. ze względu na wysokie bariery wejścia na rynek i ponoszenie ryzyka braku opłacalności.

Literatura: 1. Alves O., Brito P., Lopes P., Reis P., 2014 – Optimization of energy consumption in cold chambers in the dairy industry. Energy Procedia 50, 494-503. 2. Atkins M.J., Walmsley M.R., Neale J.R.,

2010 – The challenge of integrating non-continuous processes – milk powder plant case study. *Journal of Cleaner Production* 18 (9), 927-934.

3. Baumgartner R.J., 2011 – Critical perspectives of sustainable development research and practice. *Journal of Cleaner Production* 8, 19, 783-786.

4. Baumgartner R.J., Zielowski C., 2007 – Analyzing zero emission strategies regarding impact on organizational culture and contribution to sustainable development. *Journal of Cleaner Production* 13-14, 15, 1321-1327.

5. Berlin J., 2002 – Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *International Dairy Journal* 11, 12, 939-953.

6. Bianchi M., Cherubini F., De Pascale A., Peretto A., Elmegaard B., 2006 – Cogeneration from poultry industry wastes: Indirectly fired gas turbine application. *Energy* 31 (10-11), 1417-1436.

7. Blotnitz H.V., Curran M.A., 2006 – A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production* 15, 607-619.

8. Borys B., 2014 – Pasze pochodzenia przemysłowego w żywieniu owiec. *Wiadomości Zootechniczne*, R. XLIX, 1, 47-54.

9. Borys B., Grześkowiak E., Borys A., Lisiak D., 2013 – Efekty stosowania produktów towarzyszących produkcji biopaliw w półintensywnym tuczu jagniąt. Cz. II. Uzysk elementów kulinarnych i jakość mięsa. *Roczniki Naukowe PTZ* 9 (3) 33-45.

10. Brlek T., Bodroza-Solarov M., Vukmirovic D., Colovic R., Vuckovic J., Levic J., 2012 – Utilization of spelt wheat hull as a renewable energy source by pelleting. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 18, 752-758.

11. Brzóska F., 2004 – Pasze uboczne uzyskiwane z produkcji biopaliw i ich znaczenie w bilansie paszowym kraju. *POLAGRA* 2004. Mat. Konf. Nauk.-Techn. „Wykorzystanie produktów pochodnych wytwarzania biopaliw w gospodarce paszowej i żywieniu zwierząt”. IZ Kraków, 5-14.

12. Cherubini F., Bird N.D., Cowie A., Jungmeier G., Schlamadinger B., Woess-Gallasch S., 2009 – Energy-and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. *Resources, Conservation and Recycling* 53 (8), 434-447.

13. Czupryński B., Kotarska K., 2011 – Recykulacja i sposoby zagospodarowania wywaru gorzelniczego. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 2, 21-23.

14. Czyżyk F., Strzelczyk M., Steinhoff-Wrzeźniewska A., Godzwon J., Rajmund A., Koldras J., Kaca E., 2010 – Wytyczne w zakresie wykorzystania produktów ubocznych oraz postępowania zalecanego w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym. MRiRW, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Falenty-Warszawa (ISBN 978-83-62416-06-6), 74-89.

15. Dach J., Janczak D., Czekala W., Lewicki A., 2018 – Potencjał biogazowy w Polsce – aktualne dane. *Biomasa* 49, 40-43.

16. Davis J., Sonesson U., 2008 – Life cycle assessment of integrated food chains – a Swedish case study of two chicken meals. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 7, 13, 574-584.

17. Depping V., Grunow M., van Middelaar C., Dimpler J., 2017 – Integrating environmental impact assessment into new product development and processing-technology selection: Milk concentrates as substitutes for milk powders. *Journal of Cleaner Production* 149, 1-10.

18. Djekić I., Miocinović J., Tomasević I., Smigić N., Tomić N., 2014 – Environmental life-cycle assessment of various dairy products. *Journal of Cleaner Production* 68, 64-72.

19. Dodić S.N., Popov S.D., Dodić J. M., Ranković J.A., Zavargo Z.Z., 2010 – Biomass energy in Vojvodina: Market conditions, environment and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2, 14, 862-867.

20. Dorward A., 2013 – Agricultural labour productivity, food prices and sustainable development impacts and indicators. *Food Policy* 39, 40-50.

21. Drastig K., Prochnow A., Kraatz S., Klaus H., Plöchl M., 2010 – Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany). *Advances in Geosciences* 27, 65-70.

22. Drózd B., 2011 – Analysis of energy consumption in the small bakery. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)* 58, 57-66.

23. Dvarionienė J., Kruopienė J., Stankevičienė J., 2012 – Application of cleaner technologies in milk processing industry to improve the environmental efficiency. *Clean Technologies and Environmental Policy* 14 (6), 1037-1045.

24. Escobar J.C., Lora E.S., Venturini O.J., Yáñez E.E., Castillo E.F., Almazan O., 2009 – Biofuels: Environment, technology and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6-7, 13, 1275-1287.

25. European Commission, 2006 – Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries 97-99, 138-139.

26. Filanowski P., Rybicki C., 2018 – Polska instalacja krogeniczna do produkcji biometanu. *Biomasa* 9 (49), 38-39.

27. Flysjö A., Cederberg C., Henriksson M., Ledgard S., 2011 – How does co-product handling affect the carbon footprint of milk?

Case study of milk production in New Zealand and Sweden. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 5, 16, 420-430.

28. Fredga K., Mäler K.-G., 2010 – Life Cycle Analyses and Resource Assessments. *Ambio* 1, 39, 36-41.

29. Fritzson A., Berntsson T., 2006 – Energy efficiency in the slaughter and meat processing industry – opportunities for improvements in future energy markets. *Journal of Food Engineering* 77, 792-802.

30. Gelfand I., Snapp S.S., Robertson G.P., 2010 – Energy efficiency of conventional, organic, and alternative cropping systems for food and fuel at a site in the US Midwest. *Environmental Science & Technology* 44 (10), 4006-4011.

31. Ghasempour A., Ahmadi E., 2016 – Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment. *Journal of Environmental Management* 183, 980-987.

32. Golaszewski J., 2011 – Wykorzystanie substratów pochodzenia rolniczego w biogazowniach w Polsce. *Postępy Nauk Rolniczych* 2, 69-94.

33. Grochowicz J., 1984 – Doniesienie na III Konferencję Naukowo-Techniczną „Budowa i eksploatacja maszyn przemysłu spożywczego”. KTR-PAN, SIMP-AR Lublin.

34. Grzesik K., 2006 – Wprowadzenie do oceny cyklu życia (LCA) – nowej techniki w ochronie środowiska. *Inżynieria Środowiska* 11, 1, 101-113.

35. Grześkowiak E., Borys B., Fabian M., Lisiak B., Lisiak D., Borys A., Strzelecki J., Borzuta K., 2010 – Właściwości fizyko-chemiczne mięsa jagniąt tuczonych mieszkanką z udziałem makucho słonecznikowego i nasion lnu z uwzględnieniem pochodzenia rasowego oraz rodzaju mięśnia. *Roczniki Naukowe PTZ* 6 (4) 307-320.

36. Hák T., Janoušková S., Moldan B., 2016 – Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. *Ecological Indicators* 60, 565-573.

37. Henningsson S., Hyde K., Smith A., Campbell M., 2004 – The value of resource efficiency in the food industry: a waste minimisation project in East Anglia. *UK Journal of Cleaner Production* 5, 12, 505-512.

38. Hospido A., Moreira M.T., Feijoo G., 2003 – Simplified life cycle assessment of galician milk production. *International Dairy Journal* 10, 13, 783-796.

39. Huang J., Xu C.C., Ridoutt B.G., Liu J.J., Zhang H.L., Chen F., Li Y., 2014 – Water availability footprint of milk and milk products from large-scale dairy production systems in Northeast China. *Journal of Cleaner Production* 79, 91-97.

40. Karczmarczyk A., 2014 – Ślad wodny i ślad węglowy marmowanej żywności. *Ekonatura* 12, 6-8.

41. Konieczny P., Mroczek E., Kucharska M., 2013 – Ślad węglowy w zrównoważonym łańcuchu żywnościowym i jego znaczenie dla konsumenta żywności. *Journal of Agribusiness and Rural Development* 3 (29), 51-64.

42. Kowalski Z., Krupa-Żuczek K., 2007 – A model of the meat waste management. *Polish Journal of Chemical Technology* 9 (4), 91-97.

43. Królikowski Z., 2002 – Skład chemiczny i wartości technologiczne ziarna kukurydzy. *Kukurydza* 1, 46-49.

44. Krzyżewski J., 2014 – DDGS w żywieniu dla krów mlecznych. *Hodowca Bydła* 7-8 (www.portalhodowcy.pl/581-ddgs-w-zywieniu-dla-krow-ml; dostęp 1.02.2019).

45. Kubicki M. (red.), 1998 – Ochrona środowiska w przemyśle mleczarskim. Wyd. FAPA, Warszawa (ISBN 83-910082-1-5), 27-28, 44-46.

46. Łatkowska B., Fitko H., Stelmach S., 2011 – Ocena właściwości paliwowych ubocznego produktu z produkcji bioetanolu. *Inżynieria Ekologiczna* 25, 222-230.

47. Lebioccka M., Pawłowski A., 2009 – Biometanizacja metodą zrównoważonej utylizacji odpadów. *Rocznik Ochrony Środowiska* 11, 1257-1266.

48. Ledakowicz S., Krzystek L., 2005 – Wykorzystanie fermentacji metanowej w utylizacji odpadów przemysłu rolno-spożywczego. *Biotechnologia* 3 (70), 165-183.

49. Łączyński B., 1992 – Skrócony kurs gorzelnictwa rolniczego. Wydawnictwo Sigma-NOT, Warszawa.

50. Makarewicz P., 2013 – Technologiczno-energetyczna analiza zakładu przetwórstwa paszowego. Praca inżynierska. Wydział Inżynierii Produkcji. SGGW, Warszawa.

51. Michalski T., 2007 – Kukurydza – doskonały surowiec do produkcji biopaliw. *Kukurydza – nowe możliwości. Poradnik dla praktyków*. Warszawa (ISBN 978-83-903483-5-3), s. 5.

52. Mirowski T., Szurlej A., Wielgosz G., 2005 – Kierunki energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce. *Polityka Energetyczna* 8 (2), 55-75.

53. Murphy E., De Boer I.J.M., Van Middelaar C.E., Holden N.M., Shalloo L., Curran T.P., Upton J., 2017 – Water footprinting of dairy farming in Ireland. *Journal of Cleaner Production* 140, 547-555.

54. Myszograj S., Puchalska E., 2012 – Odpady z chowu i uboju drobiu – zagrożenie dla środowiska czy surowiec do produkcji energii. *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine* 3 (15), 106-115.

55. Niedziółka I., Szymanek M., 2003 – Przemysłowe i energetyczne wykorzystanie ziarna kukurydzy. *Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa* 5, 119-125.

56. Niżnikowski R., Radzik-Rant A., Rant W., Świątek M., Szymańska Ż., Ślęzak M., Niemiec T., Orłowski E., Bednarczyk M., 2018 – Wykorzystanie ubocznych produktów przemysłu rolno-spożywczego w żywieniu jagniąt rzeźnych. *Przegląd Hodowlany* 2, 11-15.

57. Pawłowski W., 2017 – Biogazownia jako element mający pozytywny wpływ na zmiany środowiskowe przestrzeni wiejskich. *Inżynieria Ekologiczna* 18 (5), 157-169. 58. Popp J., Lakner Z., Harangi-Rakos M., Fari M., 2014 – The effect of bioenergy expansion: food, energy, and environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32, 559-578. 59. Ridoutt B.G., Williams S.R.O., Baud S., Fraval S., Marks N., 2010 – The water footprint of dairy products: Case study involving skim milk powder. *Journal of Dairy Science* 93 (11), 5114-5117. 60. Rosentrater K.A., 2007 – Can you really pellet DDGS. *Distillers Grains Quarterly* 2 (3), 16-21. 61. Steinhoff-Wrześniewska A., Strzelczyk M., Czyżyk F., 2011 – Gospodarka materiałowo-odpadowa w przemyśle piwowarskim. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #47. 62. Strezov V., Evans A., Evans T.J., 2017 – Assessment of the economic, social and environmental dimensions of the indicators for sustainable development. *Sustainable Development* 25 (3), 242-253. 63. Thyberg K.L., Tonjes D.J., 2016 – Drivers of food waste and their implications for sustainable policy development. *Resources, Conservation and Recycling* 106, 110-123. 64. Turowski S., Nowowiejski R., 2009 – Analiza układu kogeneracyjnego jako źródła ciepła i energii elektrycznej w modelowym gospodarstwie rolnym. *Inżynieria Rolnicza* 13, 331-338. 65. Uttamangkabovorn M., Prasertsan P., Kittikun A.H., 2005 – Water conservation in canned tuna (pet food) plant in Thailand. *Journal of Cleaner Production* 13, 547-555. 66. Vasilaki V., Katsou E., Ponsá S., Colón J., 2016 – Water and carbon footprint of selected dairy products: A case study in Catalonia. *Journal of Cleaner Production* 139, 504-516. 67. Vergé X.P.C., Maxime D., Dyer J.A., Desjardins R.L., Arcand Y., Vanderzaag A., 2013 – Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. *Journal of Dairy Science* 96 (9), 6091-6104. 68. Virtanen Y., Kurppa S., Saarinen M., Katajajuuri J.M., Usva K., Mäenpää I., Mäkelä J., Grönroos J., Nissinen A., 2011 – Carbon footprint of food – approaches from national input-output statistics

and a LCA of a food portion. *Journal of Cleaner Production* 16, 19, 1849-1856. 69. Wojdalski J., 2010 – *Użytkowanie maszyn i aparatury w przetwórstwie rolno-spożywczym*. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. 70. Wojdalski J., 2018 – *Technologiczno-energetyczne uwarunkowania pracy zakładu branży spirytusowo-paszowej (z uwzględnieniem analizy skutków jakie mogą wystąpić po zmniejszeniu zasilania energią elektryczną i oddziaływania na środowisko)*. Ekspertyza. Maszynopis. Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji, SGGW, Warszawa. 71. Wojdalski J., Dróżdż B., Piechocki J., Gaworski M., Zander Z., Marjanowski J., 2013 – Determinants of water consumption in the dairy industry. *Polish Journal of Chemical Technology* 15 (2), 61-72. 72. Wojdalski J., Grochowicz J., Ekielski A., Radecka K., Stępnik S., Orłowski A., Kosmala G., 2016 – *Production and Properties of Apple Pomace Pellets and their Suitability for Energy Generation Purposes*. *Rocznik Ochrona Środowiska* 18, 89-111. 73. Wojdalski J., Niżnikowski R., Krajewski K., Żelaziński T., 2018 – *Biogospodarka, przemysł rolno-spożywczy, zrównoważony rozwój – wybrane zagadnienia*. *Przegląd Hodowlany* 4, 22-28. 74. Zawisław K., Sobczak P., (red.), 2014 – *Postęp technologiczny, żywieniowy i jakościowy w produkcji pasz i karm*. Wybrane zagadnienia – monografia. Polskie Stowarzyszenie Producentów i Dystrybutorów Karmy dla Zwierząt Towarzyszących, Lublin. (ISBN 978-83-63761-44-8). 75. Zichichi A., 2016 – The role of science for a sustainable development of the World in the Third Millenium: Project for Mankind (in Sustainable Development in context of LAUDATO SI, 364-462). Warszawa (ISBN 978-83-89124-02-0). 76. Zonderland-Thomassen M.A., Ledger S.F., 2012 – Water footprinting – A comparison of methods using New Zealand dairy farming as a case study. *Agricultural Systems* 110, 30-40. 77. Zubrzycka M., Wojdalski J., Tucki K., Zubrzycki M., 2017 – Prospects for the development of the agricultural biogas sector in Poland. *Journal of Agribusiness and Rural Development* 1 (43), 227-237.

Ukazała się już drukiem MONOGRAFIA opracowana na podstawie wygłoszonych referatów i dyskusji przeprowadzonej podczas I Kongresu Zootechniki Polskiej „*Quo vadis zootechniko?*”, zorganizowanego przez Polskie Towarzystwo Zootechniczne im. Michała Oczapowskiego, Komitet Nauk Zootechnicznych i Akwakultury Polskiej Akademii Nauk oraz Wydział Nauk o Zwierzętach Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, który odbył się w dniach 21-22 czerwca 2018 roku w Warszawie.

Monografia zawiera 6 rozdziałów:

- I. Wprowadzenie
- II. Zwierzęta w służbie człowiekowi i środowisku;
- III. Dobrostan zwierząt
- IV. Zootechnika – nauka, praktyka i kształcenie
- V. Problemy, zagrożenia i wyzwania produkcji zwierzęcej
- VI. Wnioski

będących zbiorem 14 tekstów opracowanych przez zespół 31 autorów i wniosków, które są odzwierciedleniem postulatów wygłoszonych podczas Kongresu. Opracowanie stanowi bardzo ciekawe kompendium aktualnych zagadnień istotnych dla rolnictwa jako całości, a szczególnie dla jego części dotyczącej produkcji zwierzęcej, w kompleksowy sposób ujmując omawianą problematykę w aspekcie praktyki, nauki i kształcenia. Autorzy poszczególnych części opracowania przedstawiają w sposób bardzo interesujący konkretne zagadnienia, wskazując jednocześnie potrzeby i możliwości rozwoju w przyszłości.

Książkę (216 stron, oprawa miękka) można zamawiać w Polskim Towarzystwie Zootechnicznym (e-mail: ptz@ptz.icm.edu.pl), podając adres, na który ma być wysłana. Cena 25 zł/egzemplarz (zawiera koszty wysyłki). Wystawiamy faktury VAT (prosimy o podanie danych niezbędnych do wystawienia faktury).



Warszawa, 2018