

Natalia Szubska-Włodarczyk

Uniwersytet Łódzki

Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny

natalia.szubska@ekosc.uni.lodz.pl,  <https://orcid.org/0000-0003-0092-5524>

Produkcja biogazu z odpadów produkcji zwierzęcej jako wsparcie dla neutralności klimatycznej w ujęciu regionalnym – przykład Wielkopolski

Zarys treści: W dobie wyzwań globalnych, dążenia do zeroemisyjności gospodarki UE, konieczne jest zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych. Dla regionów opartych na gospodarce węglowej istnieje potrzeba znalezienia kierunku rozwoju, który może zmniejszyć koszty wdrażania polityki klimatycznej w okresie długim. Celem pracy jest oszacowanie potencjału teoretycznego biogazu z odchodów zwierzęcych w województwie wielkopolskim. Produkcja energii z biogazu przyczynia się do transformacji energetycznej, jak również zmniejsza negatywny wpływ na środowisko naturalne produkcji zwierzęcej. Wielkopolska wykazała się najwyższym potencjałem teoretycznym produkcji biogazu z odpadów produkcji zwierzęcej w kraju oraz wysoką produkcją zwierzęcą. Przedstawiono niezbędne obszary wymagające strategicznego podejścia w rozwoju scentralizowanych biogazowni w świetle transformacji gospodarki wielkopolski w kierunku neutralności klimatycznej.

Słowa kluczowe: neutralność klimatyczna, zeroemisyjność, transformacja energetyczna, biogaz, produkcja zwierzęca

Wstęp

Zgodnie z europejskim prawem klimatycznym, UE ma stać się neutralna klimatycznie do 2050 r. Cel neutralności klimatycznej został określony w Europejskim Zielonym Ładzie (European Commission 2019). Za pojęciem neutralności klimatycznej kryje się zeroemisyjność gospodarki UE, czyli zrównoważenie bilansu ilości emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych z ich pochłonięciem przez pochłaniacze. Pochłanianie jest to proces, działalność, mechanizm umożliwiający pochłanianie z atmosfery gazu cieplarnianego, aerozolu lub prekursora gazu cieplarnianego (KE(2018/841)). Sektor rolnictwa, leśnictwa oraz użytkownia gruntów (LULUCF) pełni kluczową, a wręcz zasadniczą rolę pochłaniaczy.

Przykładowymi rezerwuarami węgla dla sektora LULUCF są biomasa nadziemna, biomasa podziemna, ściółka, martwe drewno, węgiel organiczny w materii gleby (KE(2021/1119)). Przykładem działania, które może stanowić dobry przykład zarządzania użytkami zielonymi, jest opracowanie systemu wypasu inwentarza. Działanie to stymuluje wzrost roślin oraz umożliwi wychwycenie węgla w glebie. Pastwiska sekwestrują 200–500 kg węgla na hektar w skali roku (Topczewska i in. 2022). Państwa członkowskie są zobowiązane do podjęcia niezbędnych środków w celu realizacji zeroemisyjności gospodarek, a po 2050 r., zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej, powinny dążyć do osiągnięcia ujemnych emisji (KE(2021/1119)).

Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) w raporcie wyznaczającym kierunek działań na rzecz osiągnięcia zerowalności gospodarek w 2050 r. podkreśliła konieczność rozwoju OZE, wzrostu efektywności energetycznej, ograniczenia emisji metanu, dalszego postępu w elektryfikacji, przyspieszenia rozwoju energetyki jądrowej, rozwoju technologii paliw niskoemisyjnych, implementacji technologii wychwytywania i składowania dwutlenku węgla, przy szczególnym uwzględnieniu rozwoju czystych technologii (https://iea.blob.core.windows.net/assets/6d4dda5b-be1b-4011-9dad-49c56cdf69d1/NetZeroRoadmap_AGloabalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf).

Wielkopolska jest jednym z sześciu województw w Polsce, które są objęte Funduszem Sprawiedliwej Transformacji w celu złagodzenia kosztów polityki klimatycznej oraz konieczności transformacji energetycznej. Region ten uczestniczy w inicjatywie Komisji Europejskiej dedykowanej dla obszarów, których gospodarka oparta jest głównie na przemyśle węglowym. Celem inicjatywy jest wsparcie merytoryczne w transformacji energetycznej i ekonomicznej w kierunku gospodarki niskoemisyjnej (<http://sprawiedliwa-transformacja.pl/platforma-weglowa/>). Inicjatywy Zielona Energia – Konin oraz Czysta Energia – Turek mają służyć rozwojowi innowacyjnej, niskoemisyjnej gospodarki opartej na OZE (Churski i in. 2022). Województwo wielkopolskie ma bardzo wysoki potencjał gospodarczy rolnictwa, w tym produkcji zwierzęcej. Z perspektywy osiągnięcia neutralności klimatycznej zarówno sektor energetyczny, jak i rolny w dużej mierze przyczyniają się do emisji gazów cieplarnianych. Dlatego też wymagają zaplanowania działań umożliwiających zmniejszenie ich emisyjności.

Produkcja zwierzęca jest kluczowa we wspieraniu bezpieczeństwa żywnościowego, z drugiej zaś strony jej intensyfikacja wpływa negatywnie na środowisko naturalne i zmiany klimatu. W 2022 r. około 30% ludności na świecie nie miało dostępu do żywności, a około 2 mld ludzi cierpiało na otyłość (IPCC 2022). Co więcej, szacuje się, że około 1/3 wyprodukowanej żywności rocznie jest marnotrawiona (<http://un.org>). Statystyki te potwierdzają niezrównoważenie systemu żywnościowego w kontekście realizacji celu bezpieczeństwa żywnościowego. Produkcja zwierzęca odgrywa istotną rolę w tym kontekście, stanowiąc bogate źródło białka i związków bioaktywnych (Taghikhah i in. 2020). Z drugiej strony, badania naukowe potwierdzają, że bez ograniczenia konsumpcji mięsa i produktów pochodzenia zwierzęcego osiągnięcie celów środowiskowych UE będzie niemożliwe. Tylko ograniczenie spożycia mięsa o 54–71% oraz wzrost spożycia lokalnie

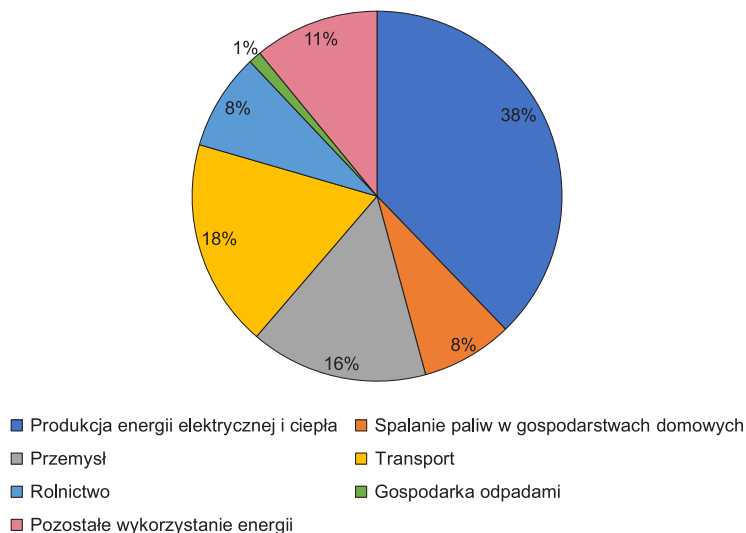
wytwarzanej żywności na poziomie 62–78% umożliwiłyby spadek blisko o połowę emisji gazów cieplarnianych w UE (Rahmann i in. 2017, Purnhagen i in. 2021, Talwar i in. 2021, Rööös 2022). Przedstawione zależności obrazują problematykę transgraniczności neutralności klimatycznej oraz konieczność znalezienia „złotego środka” między celem bezpieczeństwa żywnościowego a dążeniem do osiągnięcia zeroemisyjności gospodarek.

Biorąc pod uwagę zarysowaną problematykę wynikającą z podstawowej funkcji rolnictwa – produkcji żywności, rosnący popyt na produkty pochodzenia zwierzęcego oraz wpływ produkcji zwierzęcej na środowisko naturalne, w pracy podjęto próbę oszacowania potencjału teoretycznego produkcji biogazu z odchodów zwierzęcych w Wielkopolsce. Zastosowano dane wtórne pochodzące z BDL GUS. Wykorzystano analizę statystyczną oraz analizę danych zastanych (desk research). Produkcja biogazu z odchodów zwierzęcych z jednej strony wspiera zieloną transformację energetyczną gospodarki regionu, z drugiej zaś zmniejsza negatywny wpływ produkcji zwierzęcej na środowisko naturalne. Produkcja energii z biogazu wydaje się rozwiązaniem godnym uwagi z perspektywy łagodzenia zmian klimatycznych i dążenia do neutralności klimatycznej regionu. Tym bardziej dla regionów węglowych, do których należy Wielkopolska, poszukiwanie i wdrażanie kolejnych rozwiązań przyczyniających się do zmniejszania kosztów społecznych wdrażania polityki klimatycznej w długim okresie jest niezbędne. W województwie wielkopolskim istnieje potrzeba dostosowania oferty kształcenia placówek branżowych do realiów transformacji energetycznej regionu (Kozieł i in. 2023; https://arrtransformacja.org.pl/wp-content/uploads/2024/01/Diagnoza-kształcenie-zaw-Wielkopolska-Wschodnia_2023.pdf). A perspektywa rozwoju biogazowni rolniczych stanowi szansę dla zmniejszenia negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko naturalne oraz przyczynia się do łagodzenia zmian klimatycznych, jak również poprawia bilans emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych.

Wpływ produkcji zwierzęcej na środowisko naturalne

Hodowla zwierząt z jednej strony jest kluczowa dla generowania żywności, z drugiej zaś strony wpływa negatywnie na środowisko naturalne i tym samym zmiany klimatu. Zwierzęta gospodarskie są istotnym ogniwem w dążeniu do zrównoważonego rolnictwa, a produkcja zwierzęca stanowi istotny element całego łańcucha systemu rolno-spożywczego (Rahmann i in. 2017).

Biorąc pod uwagę zadania rolnictwa w sprostaniu wyzwaniu neutralności klimatycznej, przyczynia się ono w głównej mierze do emisji metanu. Analizując emisję gazów cieplarnianych w ujęciu globalnym, zauważono wzrost emisji metanu średnio o jeden punkt procentowy w skali roku. W 2020 r. wynosiła ona 18%. Głównym źródłem emisji tego gazu jest produkcja zwierzęca i odchody zwierzęce. Dostrzeżono również stopniowy wzrost udziału produkcji zwierzęcej i odchodów zwierzęcych w strukturze emisji tego gazu (<https://www.wri.org/data>). Jest to związane ze wzrostem konsumpcji mięsa i produktów pochodzenia zwierzęcego. W 2010 r. statystyczny mieszkaniec świata spożywał 40,95 kg



Ryc. 1. Struktura emisji gazów cieplarnianych w Polsce w 2022 r. ($\text{CO}_{2\text{ekw.}}$)

Źródło: Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2024, Forum Energii, maj 2024, s. 68 (<https://www.forum-energii.eu/transformacja-edycja-2024>).

mięsa rocznie, natomiast w 2021 roku – 42,84 kg/rok (<https://ourworldindata.org/meat-production>).

Według szacunków w 2022 r. w Polsce sektor LULUCF był odpowiedzialny za pochłonięcie około 20 mln ton $\text{CO}_{2\text{ekw.}}$. Największa emisja gazów cieplarnianych pochodzi z produkcji energii elektrycznej i ciepła 145,5 Mt $\text{CO}_{2\text{ekw.}}$. Kolejnym sektorem generującym największą emisję jest transport 70,1 Mt $\text{CO}_{2\text{ekw.}}$ oraz przemysł 59,8 Mt $\text{CO}_{2\text{ekw.}}$. Rolnictwo wyemitowało 8,5 Mt $\text{CO}_{2\text{ekw.}}$ (Forum Energii 2024). Jak wykazał w badaniach Zaliwski (2007), emisja z rolnictwa podtlenku azotu w województwie wielkopolskim jest najwyższa, natomiast wielkość emisji metanu widnieje na drugim miejscu, zaraz po województwie mazowieckim.

Zwłaszcza produkcja zwierzęca skupiona w dużych fermach przemysłowych stanowi duże zagrożenie dla środowiska naturalnego, w tym powietrza, gleby i wód. Duże skupiska zwierząt inwentarskich powodują emisję takich gazów, jak amoniak, siarkowodór, ditlenek węgla, metan, kwasy organiczne i inne związki odorowe. Dodatkowo zagrożenie dla środowiska naturalnego stanowi niekontrolowane wylewanie gnojowicy (Augustyńska-Prejsnar i in. 2018). Amoniak dostający się do gleby prowadzi do zmian w ekosystemach poprzez dezaktywację życia biologicznego, utratę zdolności do samooczyszczenia i degradację. Fosfor w odchodach zwierzęcych natomiast stymuluje proces eutrofizacji. Oprócz emisji gazów cieplarnianych produkcja zwierzęca stwarza zagrożenie w racjonalnym gospodarowaniu obornikiem, pomiotem oraz odpadami poubojowymi (Mroczek i in. 2018).

Produkcja zwierzęca ma istotny wpływ na emisję metanu i podtlenku azotu oraz amoniaku, który nie jest gazem cieplarnianym, ale oddziałuje negatywnie na środowisko naturalne. Powoduje kwaśne deszcze, eutrofizację oraz zakwaszanie

środowiska. Dla przykładu „mokre” technologie utylizacji odchodów wpływają na wzrost emisji metanu, natomiast „suche” na wzrost emisji podtlenku azotu. Emisja gazów cieplarnianych w produkcji zwierzęcej może zostać zmniejszona przez redukcję metanogenezy wskutek bilansowania dawek paszowych, spadku udziału aminokwasów w dawkach żywieniowych, użycia preparatów wiążących związki azotowe. Natomiast spadek emisji podtlenku azotu jest możliwy poprzez zmniejszenie emisji amoniaku z odchodów w efekcie zmniejszenia powierzchni parowania stanowisk oraz wykorzystywania odchodów zwierzęcych do produkcji energii (Roszkowski 2011).

W literaturze przedmiotu można zauważyć kilka metod umożliwiających zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i odorowych w produkcji zwierzęcej. Jednymi z nich są metody żywieniowe, takie jak dostosowywanie dawek żywieniowych do wieku czy też faz rozrodczych, defaunizacja żołądka (zmniejszanie mikroflory bakteryjnej), stosowanie dodatków paszowych pełniących funkcję jonoforów, dodawanie do pasz enzymów czy zwiększanie populacji bakterii utleniających metan w żołądku przeżuwaczy. Jeśli chodzi o metody technologiczne, można wyróżnić zmniejszanie emisji gazów z budynków inwentarskich (częste usuwanie gnojowicy, wymiana ściółki, stosowanie dodatków do ściółki i odchodów ograniczających proces fermentacji, instalowanie systemów mechanicznej wentylacji), zmniejszanie emisji gazów podczas składowania gnojowicy (stosowanie komór zamkniętych, zakrywanie powierzchni zbiornika granulataami), uzdatnianie gnojowicy poprzez używanie zakwaszaczy pozwalających zredukować emisję amoniaku, metanu i podtlenku azotu oraz wykorzystanie odchodów zwierzęcych do produkcji biogazu (Smurzyńska i in. 2016).

Potencjał biogazu rolniczego w wielkopolsce – metodyka i wyniki badań

Potencjał teoretyczny biogazu rolniczego został oszacowany na podstawie następujących założeń (Marczak 2009):

$$P = DJP \times s.m.o. \times \frac{365}{1000} \times B$$

gdzie:

- P – produkcja potencjalna biogazu rolniczego [$\text{m}^3 \text{CH}_4 / \text{r}$],
- DJP – liczba sztuk dużych,
- $s.m.o.$ – średnia dobowa produkcja odchodów wyrażona w kg suchej masy organicznej w przeliczeniu na sztukę dużą,
- B – średni potencjał produkcji biogazu z tony suchej masy organicznej odchodów [$\text{m}^3 \text{CH}_4 / \text{t s.m.o.}$].

Przy czym potencjał gnojowicy jako możliwy do uzyskania substrat dla biogazowni został oszacowany w oparciu o dane z tabeli 1. Natomiast potencjał

Tabela 1. Dane empiryczne do obliczenia potencjału teoretycznego biogazu z odchodów zwierzęcych

Wyszczególnienie	Jednostka	Bydło		Trzoda		Drób
		obornik	gnojowica	obornik	gnojowica	gnojowica
Sucha masa (s.m.)	Mg s.m./ Mg odpadów	0,23	0,1	0,2	0,07	0,15
Ilość suchej masy organicznej (s.m.o.) w s.m.	Mg s.m.o./ Mg s.m.	0,8	0,8	0,9	0,82	0,76
Produkcja s.m.o.	Kg s.m.o./ DJP/d	3–5,4 średnia 4,2		2,5–4 średnia 3,3		5,5–10 średnia 0,76
Produkcja biogazu na jednostkę s.m.o.	m ³ / Mg s.m.o.	175–520 średnia 347		220–637 średnia 428		327–722 średnia 524
Produkcja metanu na jednostkę s.m.o.	m ³ / Mg s.m.o.	średnia 218		średnia 269		średnia 330

Źródło: Krajowa Agencja Poszanowania Energii... (2007, s. 76).

energetyczny biogazu zależy jest od zawartości metanu. W obliczeniach założono jego 65-procentowy udział – i tym samym wartość energetyczną biogazu na poziomie 23 MJ/m³ (Marczak 2009).

Tabela 2. Liczba sztuk inwentarza żywego w przeliczeniu na DJP* w latach 2021–2022 [w tys. szt.]

Wyszczególnienie	Trzoda chlewna		Drób		Bydło	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Polska	1103,9	1052,3	1068,9	1098,9	4506,5	4533,9
Dolnośląskie	19,4	18,7	26,8	24,2	71,9	80,0
Kujawsko-pomorskie	107,7	94,2	48,8	45,3	347,1	351,2
Lubelskie	46,3	46,3	51,3	53,0	258,6	258,4
Lubuskie	11,0	7,4	70,2	74,8	60,2	66,5
Łódzkie	116,4	112,8	67,6	68,9	313,9	326,3
Małopolskie	13,0	11,1	22,2	20,0	122,2	118,0
Mazowieckie	126,9	138,8	195,1	208,8	845,5	935,7
Opolskie	33,4	29,6	13,9	14,6	95,0	98,4
Podkarpackie	11,4	9,3	17,5	18,6	56,2	57,9
Podlaskie	37,2	33,3	58,5	58,4	821,3	789,3
Pomorskie	77,2	73,9	24,0	22,3	159,0	169,4
Śląskie	20,0	17,6	31,0	27,5	98,1	97,9
Świętokrzyskie	18,1	15,8	23,6	29,9	100,1	104,2
Warmińsko-mazurskie	52,9	55,2	126,4	124,4	361,7	360,8
Wielkopolskie	395,4	370,5	237,8	259,5	822,3	799,9
Zachodniopomorskie	17,7	17,9	54,0	48,6	79,2	81,6

* Sztuki fizyczne zostały przeliczone na DJP zgodnie z Skórnicki i in. (2010, s. 100) (https://poznan.cdr.gov.pl/normatywy/public/pdf/10_A_2.pdf).

Źródło: opracowanie własne, na podstawie danych <https://bd1.stat.gov.pl/bd1>.

Rolnictwo Wielkopolski ma wysoki potencjał gospodarczy oraz wykazuje się wysoką intensyfikacją produkcji zwierzęcej. W 2022 r. cechowało się jedną z najwyższych ilości zwierząt gospodarskich wyrażonych w jednostkach sztuk dużych (DJP) w przeliczeniu na 100 ha użytków rolnych – 81,7 sztuki. Na pierwszym miejscu znalazło się województwo podlaskie z liczebnością 82,2 DJP na 100 ha. Analizując pogłowie zwierząt inwentarskich dla poszczególnych gatunków, istotnych z perspektywy produkcji biogazu, województwo wielkopolskie posiadało największą liczbę trzody chlewnej, czyli 192,5 sztuki na 100 ha użytków rolnych oraz drobiu kurzego 2222,8 sztuki na 100 ha. Region ten zajmuje również pierwsze miejsce w Polsce w produkcji żywca rzeźnego (wołowego oraz wieprzowego) (GUS 2023a). Liczba sztuk dużych została wyliczona w oparciu o dostępne dane BDL GUS dotyczące liczby sztuk poszczególnych rodzajów inwentarza żywego. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Na podstawie przedstawionych powyżej założeń oszacowano potencjał teoretyczny produkcji biogazu z odchodów zwierzęcych, którego wyniki zaprezentowano w tabeli 3. Województwo wielkopolskie ma najwyższy potencjał w produkcji biogazu z trzody chlewnej oraz drobiu. W przypadku produkcji biogazu z gnojowicy bydłowej znajduje się na drugim miejscu w rankingu, zaraz po województwie mazowieckim.

Tabela 3. Potencjał teoretyczny produkcji biogazu [mln m³/rok] w latach 2021–2022

Wyszczególnienie	Bydło		Trzoda chlewna		Drób	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Polska	2397,2	2411,8	569,1	542,5	1590,5	1635,1
Dolnośląskie	38,3	42,5	10,0	9,6	39,8	36,0
Kujawsko-pomorskie	184,6	186,8	55,5	48,6	72,6	67,5
Lubelskie	137,6	137,4	23,9	23,9	76,4	78,9
Lubuskie	32,0	35,4	5,7	3,8	104,5	111,3
Łódzkie	167,0	173,6	60,0	58,1	100,6	102,6
Małopolskie	65,0	62,8	6,7	5,7	33,0	29,7
Mazowieckie	449,8	497,7	65,4	71,5	290,2	310,7
Opolskie	50,5	52,3	17,2	15,3	20,7	21,7
Podkarpackie	29,9	30,8	5,9	4,8	26,1	27,7
Podlaskie	436,9	419,9	19,2	17,2	87,0	86,9
Pomorskie	84,6	90,1	39,8	38,1	35,7	33,2
Śląskie	52,2	52,1	10,3	9,1	46,2	41,0
Świętokrzyskie	53,3	55,4	9,4	8,1	35,2	44,5
Warmińsko-mazurskie	192,4	191,9	27,3	28,5	188,1	185,1
Wielkopolskie	437,4	425,5	203,8	191,0	353,9	386,1
Zachodniopomorskie	42,1	43,4	9,1	9,2	80,3	72,3

Źródło: opracowanie własne.

Natomiast oszacowany potencjał energetyczny biogazu z odchodów zwierzęcych przedstawiono w tabeli 4. Potencjał energetyczny biogazu w województwie wielkopolskim, po uwzględnieniu rozróżnienia na rodzaj pochodzenia gnojowicy,

Tabela 4. Potencjał energetyczny biogazu z odchodów zwierzęcych [TJ] w latach 2021–2022

Wyszczególnienie	Bydło		Trzoda chlewna		Drób	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Polska	55136,2	55471,2	13089,6	12476,8	36581,9	37608,2
Dolnośląskie	880,1	978,3	229,6	221,3	916,2	828,9
Kujawsko-pomorskie	4246,2	4296,9	1277,2	1117,1	1670,7	1551,6
Lubelskie	3163,8	3161,3	549,4	549,1	1757,4	1815,1
Lubuskie	736,7	813,5	130,7	87,6	2403,5	2558,8
Łódzkie	3840,1	3992,4	1379,8	1337,0	2313,4	2359,6
Małopolskie	1495,1	1443,3	153,8	131,6	759,8	683,3
Mazowieckie	10344,6	11447,8	1504,8	1645,3	6675,6	7147,1
Opolskie	1162,1	1203,4	396,3	351,3	477,2	499,3
Podkarpackie	687,7	708,0	134,6	110,6	600,2	636,0
Podlaskie	10047,9	9657,4	440,8	395,3	2000,9	1999,1
Pomorskie	1945,2	2072,1	915,2	876,1	822,0	763,0
Śląskie	1200,3	1197,2	236,7	208,7	1061,9	942,1
Świętokrzyskie	1225,2	1274,6	215,2	186,9	809,3	1022,6
Warmińsko-mazurskie	4425,1	4414,5	627,6	654,4	4327,0	4257,3
Wielkopolskie	10060,2	9786,4	4688,2	4392,6	8139,4	8880,5
Zachodniopomorskie	969,2	998,6	209,5	211,9	1847,3	1664,0

Źródło: opracowanie własne.

jest najwyższy dla trzody chlewnej oraz drobiu. W przypadku potencjału energetycznego gnojowicy bydłowej jest on wysoki, natomiast województwo wielkopolskie znajduje się w zestawieniu po województwie mazowieckim, tak jak w przypadku ilości tego inwentarza w sztukach DJP.

Łączny potencjał energetyczny biogazu z odchodów zwierzęcych jest najwyższy w Wielkopolsce i w 2022 r. został oszacowany na 23 059,5 TJ i stanowił 21,8% potencjału krajowego. Dla porównania województwo mazowieckie wykazało się łącznym potencjałem energetycznym biogazu z gnojowicy wynoszącym 19,2% potencjału krajowego, a województwo podlaskie – 11,4%. Dla pozostałych województw oszacowany potencjał był niższy.

Uwzględniając rodzaj pochodzenia gnojowicy, w 2022 r. potencjał energetyczny biogazu z gnojowicy trzody chlewnej wyniósł w województwie wielkopolskim 35% w skali kraju. Odpowiednio dla pozostałych rodzajów gnojowicy, potencjał energetyczny biogazu dla tego regionu wyniósł dla biogazu z gnojowicy drobiowej – 24%, a z bydłowej – 18%. Województwo wielkopolskie jest bezkonkurencyjne w skali kraju w przypadku potencjału energetycznego pochodzącego z gnojowicy trzody chlewnej. Na drugim i trzecim miejscu znalazły się województwa mazowieckie (13%) i łódzkie (11%). Pozostałe województwa charakteryzowały się znacznie niższym potencjałem. Podobne wnioski można wysnuć, analizując potencjał energetyczny biogazu z gnojowicy drobiowej. Za województwem wielkopolskim znalazły się województwa mazowieckie (19%) oraz warmińsko-mazurskie (11%). W przypadku potencjału energetycznego biogazu z gnojowicy bydłowej

Tabela 5. Łączny potencjał energetyczny biogazu z odchodów zwierzęcych [TJ] w latach 2020–2022

Wyszczególnienie	2020	2021	2022
Polska	109379,2	104807,6	105556,2
Dolnośląskie	2482,3	2026,0	2028,5
Kujawsko-pomorskie	7549,2	7194,0	6965,6
Lubelskie	6053,9	5470,6	5525,5
Lubuskie	2967,6	3271,0	3459,9
Łódzkie	7813,9	7533,3	7689,0
Małopolskie	2560,0	2408,7	2258,2
Mazowieckie	20546,0	18525,0	20240,2
Opolskie	2297,9	2035,6	2053,9
Podkarpackie	1649,8	1422,5	1454,6
Podlaskie	11833,8	12489,6	12051,8
Pomorskie	3852,5	3682,5	3711,1
Śląskie	2557,4	2498,9	2348,0
Świętokrzyskie	2518,3	2249,7	2484,1
Warmińsko-mazurskie	9051,4	9379,7	9326,3
Wielkopolskie	22438,4	22887,9	23059,5
Zachodniopomorskie	3206,9	3026,1	2874,5

Źródło: opracowanie własne.

udziały w produkcji w ujęciu krajowym są zbliżone dla trzech pierwszych w rankingu województw, tj. mazowieckiego (21%), wielkopolskiego (18%) i podlaskiego (17%).

Dyskusja

W literaturze wskazuje się wiele pozytywnych aspektów funkcjonowania biogazowni rolniczych. Korzyści wynikające z produkcji biogazu z odchodów zwierzęcych przedstawiono m.in. w pracach takich autorów, jak Pawlak (2013) czy Sulewski i in. (2017). Należą do nich: możliwość zagospodarowania odchodów zwierzęcych, traw, produktów ubocznych z produkcji roślinnej oraz uzyskanie nawozu organicznego wpływającego na poprawę stanu agroekosystemu. Skład chemiczny pofermentu stanowi bogaty w składniki odżywcze nawóz, który jest pochodną substratów wykorzystanych do produkcji biogazu. Kolejnym pozytywnym aspektem jest fakt, że dostarczanie odchodów zwierzęcych może być źródłem dodatkowego dochodu dla rolnika w przypadku podpisania umowy. Natomiast w świetle zielonej transformacji energetycznej oraz dążenia do neutralności klimatycznej funkcjonowanie biogazowni umożliwia produkcję energii cieplnej i elektrycznej oraz zmniejszenie emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych. Dodatkowo budowa oraz eksploatacja biogazowni, zwłaszcza tych o większych mocach, kreuje nowe miejsca pracy, co wydaje się kluczowe dla regionów węglowych. Z perspektywy bezpieczeństwa energetycznego, biogazownie mogą

stanowić stabilne źródło energii i wsparcie dla regionalnego systemu energetycznego ze względu na to, że nie są zależne od warunków atmosferycznych tak jak w przypadku produkcji energii z paneli fotowoltaicznych czy turbin wiatrowych, a poprzez względną stabilność produkcji ułatwiają prognozowanie zapotrzebowania na energię oraz produkcję energii.

Natomiast w świetle dotychczasowych doświadczeń główną barierą rozwoju budowy biogazowni rolniczych w Polsce są wysokie koszty budowy, skomplikowany proces inwestycyjny oraz niewystarczająca ilość badań na tym obszarze (Kosewska, Kamiński 2008, Maj, Piekarski 2014, Majewski i in. 2016, Zubrzycka i in. 2017, Wałowski 2021). Opłacalność ekonomiczna funkcjonowania biogazowni rolniczych zależy od wielu czynników, do których należą między innymi lokalizacja, transport substratów, rodzaj wykorzystywanych substratów, zastosowana technologia, możliwość uzyskania wsparcia finansowego, ceny uprawnień do emisji i innych certyfikatów, formy własności.

Kolejną barierą rozwojową dla biogazowni rolniczych wskazywaną w literaturze jest opór społeczny (Majewski i in. 2016). Co więcej, badania przeprowadzone przez Horschig i in. (2020) potwierdzają, że właśnie brak akceptacji społecznej jest najsilniejszą barierą rozwojową dla większości grup interesariuszy sektora biogazu (takich jak NGO, decydenci rządowi, jednostki naukowo-badawcze, media, rolnicy konwencjonalni i ekologiczni, operatorzy biogazowni). Jako kluczowe bariery można wskazać obawy społeczności lokalnych dotyczące nieprzyjemnego zapachu, niższe ceny nieruchomości zlokalizowanych w pobliżu inwestycji, uciążliwości związane z transportem surowca do biogazowni (ISAAC 2018, O'Neil 2021). W literaturze przedmiotu można również znaleźć wyniki badań dotyczące obaw społeczności lokalnej związanych z wpływem budowy biogazowni na środowisko naturalne. Wielewska (2017) wykazała, że społeczność lokalna obawia się zmian krajobrazu (ekspansywnego wycinania lasów) oraz szaty roślinnej (wzrostu intensywności upraw, wyjąłowania gleby) w przypadku produkcji energii z biogazu. Należy podkreślić, że funkcjonowanie monokultur w rolnictwie wpływa niekorzystnie na bioróżnorodność gatunkową i środowisko naturalne, a funkcjonowanie biogazowni rolniczych wymaga zapewnienia możliwie tego samego rodzaju substratów, np. kiszonki z kukurydzy. Dlatego dobór odpowiedniej mieszanki substratów dla biogazowni jest istotny nie tylko z perspektywy doboru technologii, ale również z konieczności zachowania bioróżnorodności gatunkowej (Wiśniewski 2023, Żuchowska-Grzywacz 2024). Dodatkowo kwestie oporu społecznego związanego z lokalizacją biogazowni rozważane są w kontekście syndromu NIMBY (akronim ang. Not In My Back), gdzie akceptacja budowy biogazowni przez społeczność lokalną jest tym większa, im dalej dana jednostka jest/ma być zlokalizowana od miejscowości danego respondenta. Więcej na ten temat można znaleźć w opracowaniach takich autorów, jak: Marcinkiewicz, Poskrobko (2015), O'Neil (2021), Kozłowska i in. (2022), Bojanowicz-Babłok i in. (2024).

Kolejnym problemem okazał się aspekt techniczny, który wymusza zapotrzebowanie na wyspecjalizowanych pracowników. Sama produkcja biogazu obciążona jest dużą wrażliwością procesów zachodzących w komorze fermentacyjnej, a więc podatna jest na możliwe do popełnienia błędy przez operatora. Należy

podkreślić, że zagospodarowanie odchodów zwierzęcych do produkcji energii jest utrudnione ze względu na ich niejednorodny skład oraz strukturę. Cały proces techniczny produkcji biogazu jest bardzo skomplikowany i zależny w dużej mierze od jakości substratów, temperatury w komorach fermentacyjnych, charakteru technologicznego, zawartości suchej masy, stosunku C/N i ilości lotnych kwasów tłuszczowych (Rogulska i in. 2011). Proces ten wymaga odpowiedniego doboru metody i techniki przetwarzania w celu poprawy efektywności. Produkcja biogazu z odchodów zwierzęcych, jej efektywność, uwarunkowana jest aspektami technicznymi. Problem przy stosowaniu fermentacji metanowej stanowi wysokie stężenie amoniaku. W literaturze przedmiotu wyodrębnia się: stripping powietrzem lub parą wodną, kofermentację obornika wraz z innymi odpadami, technologię Anammox, stosowanie adsorbentów jako metody umożliwiające poprawę efektywności procesu fermentacji metanowej i uzysku biogazu. Proces fermentacji metanowej umożliwia redukcję patogenów, kontrolę wytwarzanych odorów, odzysk nutrientów, produkcję energii, a więc zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko naturalne odchodów zwierzęcych (Jasińska 2021). Co więcej, obornik oraz gnojowica są również źródłem nawozów organicznych wykorzystywanych w rolnictwie. Według danych GUS najczęściej stosowano ich właśnie w województwie wielkopolskim (GUS 2020). Z perspektywy wpływu obornika i gnojowicy na środowisko naturalne kwestię problemową stanowi występowanie w odchodach zwierzęcych antybiotyków. Przy intensywnym chowie/produkcji zwierzęcej w celu zachowania efektywności produkcji używanie leków weterynaryjnych jest nieuniknione. Badania potwierdzają natomiast negatywny wpływ antybiotyków w nawozach organicznych na glebę oraz zasoby wodne, jak również powstawanie opornych na farmaceutyki szczepów drobnoustrojów. Zmniejszenie ich negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne, neutralizacja jest możliwa właśnie poprzez stosowanie fermentacji tlenowej wykorzystywanej między innymi do produkcji biogazu (Osiński i in. 2022). Oprócz produkcji energii jako zalety fermentacji metanowej wskazuje się: zrównoważenie zarządzania odpadami, kontrolę odoru, redukcję patogenów, inaktywację nasion chwastów, ochronę składników odżywczych i mineralizację, produkcję włóknistych produktów ubocznych, redukcję emisji gazów cieplarnianych (Wilkie 2005).

Odnosząc się do badań międzynarodowych w ujęciu regionalnym, jako dobry przykład wykorzystania odchodów zwierzęcych do produkcji biogazu, a przez to realizację celu dążenia do neutralności klimatycznej UE i wzrostu bezpieczeństwa energetycznego, można wskazać Danię. Szacuje się, że w tym kraju około 30% odchodów zwierzęcych przeznaczanych jest do produkcji biogazu. Natomiast zakłada się, że do 2030 r. biogaz zastąpi w całości zapotrzebowanie na gaz ziemny. Jak pokazują doświadczenia duńskie, efekt ten był możliwy poprzez duże zaangażowanie zaplecza badawczo-rozwojowego, współpracy z władzami lokalnymi oraz podmiotami sektora rolnego, co umożliwiło tworzenie klastrów (Mernild 2023).

Kolejny przykład odnoszący się do możliwości osiągnięcia neutralności klimatycznej, a więc poprawy bilansu emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych, stanowią badania przeprowadzone przez Lyng i in. (2018). Badacze

przeanalizowali model optymalizacyjny funkcjonowania biogazowni w Norwegii w ujęciu regionalnym. Badaniem objęto pięćdziesiąt gospodarstw rolnych. Udowodnili, że produkcja energii z biogazu może przyczynić się do ograniczenia emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych. Średnia optymalna odległość transportu substratu do biogazowni wynosiła 19 km. Natomiast wykazano, że z perspektywy łagodzenia zmian klimatycznych maksymalna odległość transportu substratów wynosi 100 km. Dodatkowo potwierdzono, że zapewnienie transportu substratu przez biogazownie jest kluczowe dla zapewnienia ciągłości dostaw. Natomiast należy zaznaczyć, że z perspektywy energetyki obywatelskiej¹, która zakłada produkcję energii z OZE w wymiarze lokalnym przy zaangażowaniu społeczności lokalnej (Dyląg i in. 2019, Marzec 2023), transport surowca na 100 km jest sprzeczny z jej ideą. Rozbieżność postrzegania produkcji energii z biogazu w tym przypadku uwidacznia problematykę, jaka powstaje przy rozważaniu organizacji systemu funkcjonowania biogazowni w skali mikro (energetyka obywatelska) oraz makro (dążenia do neutralności klimatycznej gospodarek). Natomiast należy podkreślić, że transport surowca do biogazowni jest istotnym czynnikiem oddziałującym na szanse rozwoju biogazowni rolniczych nie tylko w aspekcie wsparcia poprawy bilansu antropogenicznych gazów cieplarnianych, ale też w kwestii organizacji dowozu surowca. Badania przeprowadzone przez Roszkowską i Szubską-Włodarczyk (2022) pokazują, że pokrycie kosztów transportu, zapewnienie ciągłości odbioru surowca oraz organizacja transportu przez stronę popytową znacząco wpływa na chęć rolników do sprzedania substratów (gnojowicy, obornika), a tym samym na możliwość funkcjonowania biogazowni.

Zakłada się, że biogazownie powinny powstawać w dużych gospodarstwach z obsadą inwentarza wynoszącą co najmniej 100 DJP. Rolnicy zainteresowani są biogazowniami o mocy 0,3–0,6 MWe². Z perspektywy sektora energetycznego zaś instalacja nawet o mocy 1–2 MWe jest niewielka. Łączny potencjał teoretyczny biogazu z odchodów zwierzęcych w województwie wielkopolskim został oszacowany na 1002,6 mln m³/rok. W czerwcu 2024 r. zgodnie z rejestrem wytwórców biogazu rolniczego w regionie tym działało 26 biogazowni rolniczych. Wytwarzają średnio 100,8 mln m³/rok biogazu, czyli 15,7% produkcji w skali kraju. Wyprodukowany biogaz stanowił 10% oszacowanego potencjału. Natomiast łączna zainstalowana moc elektryczna instalacji OZE wynosiła 25,754 MW przy 156,481 MW mocy w kraju (<https://www.gov.pl/web/kowr/rejestr-wytworcow-biogazu-rolniczego>). Utrudnieniem w funkcjonowaniu biogazowni, nawet tych niewielkich z perspektywy sektora energetycznego – o mocy 1–2 MWe, jest duże zapotrzebowanie na substraty. Gnojowica stanowi jeden z kosubstratów biogazowni, drugim najbardziej korzystnym jest kiszonka z kukurydzy. Wybór wielkości biogazowni uzależniony jest właśnie od dostępności substratów (gnojowicy czy kiszonki z kukurydzy). Różnica w ilości uzysku gnojowicy zależy od sposobu chowu. Jeśli zwierzęta przebywają cały rok w budynkach inwentarskich, roczna produkcja gnojowicy wynosi około 20 m³/DJP. Natomiast jeśli zwierzęta

¹ W artykule problematyka energetyki obywatelskiej w kontekście produkcji energii z biogazu nie jest poruszana.

² MWe – jednostka zainstalowanej mocy elektrycznej wyrażona w megawatach.

przebywają 182 dni w budynkach inwentarskich, a resztę na pastwiskach, to produkcja gnojowicy wynosi średnio 10 m³/DJP. Dla procesu produkcji biogazu bardzo ważna jest zawartość suchej masy we wsadzie w komorze fermentacyjnej. Z kolei zawartość suchej masy zarówno w gnojowicy, jak i w kiszonce jest różna, dlatego udział poszczególnych substratów w sadzie jest zmienny. W konsekwencji mieszanka substratów wymaga każdorazowego przeliczania (Ginalski 2020), a więc i wykwalifikowanej kadry technicznej.

Biogazowania o mocy 1 MWel do prawidłowego funkcjonowania potrzebuje średnio 270 ton biomasy dziennie, w tym 57 ton kisonki z kukurydzy oraz 3 ton ziarna zbóż i 214 m³ gnojowicy. Dodatkowo biogazownia taka może wytworzyć do 30 000 ton pofermentu, do którego zagospodarowania potrzebne jest 1000–5000 ha pól (Makara i in. 2017). W 2023 r. grunty orne w województwie wielkopolskim stanowiły 1550,4 tys. ha, łąki – 201,6 tys. ha, pastwiska – 77,2 tys. ha (GUS 2023b). Powierzchnia zasiewów kukurydzy na ziarno wynosiła 207,6 tys. ha w 2022 r. i była większa w porównaniu z 2020 r. (189,6 tys. ha). Średnio uzyskano 6,85 t/ha. Widoczny jest spadek powierzchni pod uprawy kukurydzy na zielonkę w województwie wielkopolskim w latach 2021–2023. W 2021 r. powierzchnia zasiewu wynosiła 130,4 tys. ha, a w 2023 r. – 121,6 tys. ha. Natomiast plon z hektara tego zboża wyniósł w tym regionie 49,9 tony w 2023 r. i był wyższy o 1,4 tony w porównaniu z 2021 r. Zbiory kukurydzy na kisonkę wyniosły łącznie 6,1 mln ton w Wielkopolsce w 2023 r. (Urząd Statystyczny w Poznaniu 2023; <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica>).

Biorąc pod uwagę powyższe dane statystyczne dotyczące województwa wielkopolskiego oraz przyjmując założenia z tabeli 6, zakładające hipotetycznie funkcjonowanie biogazowni w oparciu o samą kisonkę z kukurydzy, można stwierdzić, że liczba biogazowni o mocy 1 MW, która mogłaby powstać, jest duża – 289. Zaznacza się jednak, że jest to potencjał teoretyczny, który wymaga przede

Tabela 6. Zapotrzebowanie na kisonkę i minimalny areal uprawy w zależności od zainstalowanej mocy kogeneratora

Zainstalowana moc	Zapotrzebowanie na biogaz	Kisonka stanowi 100% substratu				Minimalny areal pod uprawę kisonki
		Minimalne zapotrzebowanie na kisonkę				
		m ³	ton/rok	ton/m-c	ton/tydzień	
1 MW	3650000	21000	1750	420	60	440
500 kWe	1825000	10500	875	210	30	220
300 kWe	1095000	6300	525	126	18	132
200 kWe	730000	4200	350	84	12	88
100 kWe	365000	2100	175	42	6	44
50 kWe	182500	1050	87,5	21	3	22
30 kWe	110606	636	53	12,73	1,82	13,3
20 kWe	73000	420	35	8,4	1,2	8,8
10 kWe	36500	210	17,5	4,2	0,6	4,4
5 kWe	18250	105	8,8	2,1	0,3	2,2

Źródło: Ginalski (2020).

wszystkim kalkulacji zapotrzebowania na paszę dla inwentarza. Co więcej, biogazownie w takiej liczbie mogłyby łącznie wytworzyć 8,6 mln ton pofermentu, do którego zagospodarowania potrzebne by było 289 tys.–1,4 mln ha pól uprawnych. Taka ilość pofermentu wymagałaby zagospodarowania całej powierzchni gruntów ornych województwa wielkopolskiego. Oszacowania te pokazują teoretyczny potencjał, ale przede wszystkim mają na celu przedstawienie konieczności przeprowadzenia analiz przestrzennych, logistycznych, technologicznych, środowiskowych, strategicznych, a przez to zaangażowania zaplecza naukowo-badawczego i jednostek samorządowych.

Podsumowanie i wnioski

Rolnictwo ma istotną rolę do odegrania w świetle realizacji celu osiągnięcia neutralności klimatycznej UE. Jednym z rozwiązań wspierających gospodarki regionalne w sprostaniu wyzwaniom zielonej transformacji gospodarczej, stawianym zwłaszcza regionom węglowym, może być produkcja energii z odpadów produkcji zwierzęcej. Jak starano się wykazać, produkcja energii z biogazu pochodzącego z odchodów zwierzęcych wpisuje się zarówno w realizację założeń zrównoważonego rolnictwa, jak i wspiera transformację energetyczną oraz dążenie do neutralności klimatycznej gospodarki regionalnej. Zniwelowanie negatywnego wpływu na środowisko naturalne produkcji zwierzęcej poprzez produkcję energii z biogazu z odchodów zwierzęcych, z jednej strony wspiera regionalny sektor energetyczny, z drugiej zaś oddziałuje korzystnie na redukcję emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych. Biorąc pod uwagę obecne trendy żywieniowe, wzrost spożycia mięsa, należy spodziewać się dalszych wzrostów emisji tych gazów pochodzących z produkcji zwierzęcej, a wykorzystanie odchodów zwierzęcych do produkcji biogazu pozytywnie wpływa na zrównoważenie bilansu.

Tematyka poruszona w artykule miała na celu pokazanie produkcji energii z biogazu pochodzącego z odchodów zwierzęcych z innej perspektywy jako jedno z rozwiązań możliwych do ponownego przeanalizowania w dobie polityki neutralności klimatycznej, wygaszania bloków węglowych w Polsce oraz konieczności wzrostu bezpieczeństwa energetycznego gospodarki, także w ujęciu regionalnym. Przed polskim sektorem energetycznym jest duże wyzwanie zielonej transformacji, a dla regionów węglowych pojawiła się konieczność planowania wielopłaszczyznowej strategii transformacji, której jednym z celów jest zminimalizowanie kosztów społecznych wdrażania polityki klimatycznej. Wydaje się, że problematyka osiągnięcia neutralności klimatycznej i zielona transformacja energetyczna regionu na przykładzie Wielkopolski może skutkować początkiem nowych rozważań odnośnie do rozwoju biogazowni w Polsce. Dodatkowo obecny kryzys energetyczny i wzrost znaczenia bezpieczeństwa energetycznego przy uwzględnieniu konieczności działań na rzecz ochrony klimatu przyczynia się do innego spojrzenia pod kątem opłacalności funkcjonowania biogazowni i powrotu debaty dotyczącej ekonomicznego uzasadnienia prosperowania jednostek scentralizowanych. Tym bardziej że, jak wykazano, transport substratu nawet do 100

km może wpływać korzystnie na bilans emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych, a budowa biogazowni zaspokajających potrzeby lokalnej społeczności wydaje się uzasadniona z perspektywy bezpieczeństwa energetycznego regionu.

Województwo wielkopolskie charakteryzuje się wysokim potencjałem produkcyjnym biogazu rolniczego, klasyfikując się na pierwszej pozycji w kraju w przypadku produkcji tego gazu z gnojowicy trzody chlewnej i drobiu, a na drugim miejscu przy wykorzystaniu gnojowicy bydłowej. Należy podkreślić, że potencjał energetyczny biogazu pochodzącego z gnojowicy trzody chlewnej oraz drobiu jest na poziomie wyróżniającym w skali kraju. W 2022 r. zużycie energii elektrycznej ogółem w województwie wielkopolskim wynosiło 45 633,6 TJ (<https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica>), a łączny potencjał biogazu został oszacowany na 22 438,4 TJ, co stanowi 49% zużytej energii elektrycznej w tym województwie. Produkcja energii z biogazu z odpadów produkcji zwierzęcej w wymiarze regionalnym może przyczynić się do rozwoju obszarów wiejskich poprzez pobudzenie rozwoju gospodarczego, kreację nowych miejsc pracy, wzrost gospodarczy w ujęciu regionalnym oraz rozwój innowacyjności, co wydaje się istotne z perspektywy Wielkopolski. Z badań przeprowadzonych przez Kaczmarek (2023) wynika, że w województwie wielkopolskim istnieje zróżnicowanie regionalne pod kątem podatności społeczno-ekonomicznej na zmiany klimatu. Niezbędne jest szerzenie edukacji ekologicznej i pokazanie szans rozwojowych społeczności lokalnej związanych z produkcją energii z biogazu oraz przedstawienie możliwości zagospodarowania odchodów zwierzęcych do produkcji energii.

Wielkopolska wykazuje się również teoretycznie, wystarczającą ilością produkcji kiszonki z kukurydzy jako kosubstratu dla biogazowni. Natomiast obliczenia były wykonane w oparciu o dostępne dane przy założeniu wykorzystania kiszonki jako jedyne go substratu. Rozważając rozwój wykorzystania biogazu do produkcji energii, kolejne badania powinny się skupić na weryfikacji bilansu kiszonki z kukurydzy z punktu widzenia pokarmu dla inwentarza żywego oraz doboru odpowiedniego jej udziału jako kosubstratu do gnojowicy przy produkcji biogazu. Zasadna wydaje się również dalsza analiza możliwości wykorzystania pofemrentu jako substytutu nawozu organicznego z odchodów zwierzęcych na obszarach rolnych Wielkopolski.

Jak wykazały statystyki, województwo wielkopolskie cechuje się wysoką produkcją zwierzęcą w porównaniu z innymi województwami w kraju, co upoważnia do stwierdzenia, że produkcja zwierzęca może wpływać negatywnie na środowisko naturalne w regionie. Województwo wielkopolskie, jak wykazują badania, charakteryzuje się wysokimi emisjami metanu i podtlenu azotu z rolnictwa, dlatego rozwiązanie zagospodarowania gnojowicy do produkcji biogazu może być jednym z elementów wspierających strategię niskoemisyjnej gospodarki. Wykorzystanie gnojowicy do produkcji biogazu przyczynia się do poprawy również składu potencjalnego pofemrentu jako nawozu, ze względu na to, że proces fermentacji neutralizuje antybiotyki obecne w odchodach zwierzęcych. W przypadku wykorzystania gnojowicy bezpośrednio jako nawóz organiczny zwiększa się ryzyko negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne właśnie poprzez obecność w niej antybiotyków.

Emisja antropogenicznych gazów cieplarnianych z produkcji zwierzęcej może zostać zmniejszona poprzez stosowanie odpowiednio dobranych metod żywieniowych, strategii wypasu i metod technologicznych. Natomiast wydaje się, że korzystne byłoby połączenie zarówno odpowiedniego planowania poprzez dobór metod żywieniowych dla inwentarza, jak i produkcji energii z biogazu z odchodów zwierzęcych. Produkcja energii z biogazu z odchodów zwierzęcych może stanowić jedno z rozwiązań wspierających dążenie do neutralności klimatycznej gospodarek, a w ujęciu regionalnym, zwłaszcza dla regionów węglowych, może przyczynić się do wsparcia transformacji energetycznej i zmniejszenia kosztów wdrażania polityki klimatycznej.

Konflikt interesów

Autorka deklaruje brak występowania konfliktu interesów. Autorka oświadcza, że tekst artykułu jest w całości jej dziełem.

Literatura / References

- Augustyńska-Prejsnar A., Ormian M., Sokołowicz Z., Topczewska J., Lechowska J. 2018. Oddziaływanie ferm trzody chlewnej i drobiu na środowisko. *Proceedings of ECOpole*, 12(1): 117–129. [https://doi.org/10.2429/proc.2018.12\(1\)011](https://doi.org/10.2429/proc.2018.12(1)011)
- Bojanowicz-Bablok A., Hajto M., Horak N., Kuśmierz A., Potapowicz I., Sobol A., Eidsmo S., Grandum L. 2024. Bariery wdrażania rozwiązań w zakresie produkcji biogazu i gospodarki bioodpadami. Raport. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Churski P., Burchardt M., Herodowicz T., Konecka-Szydłowska B., Perdał R. 2022. Diagnoza strategiczna Wielkopolski Wschodniej. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań.
- Dyląg A., Kassenberg A., Szymalski W. 2019. Energetyka obywatelska w Polsce – analiza stanu i rekomendacje do rozwoju. Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa (https://www.pine.org.pl/wp-content/uploads/2020/06/191021_InE_Opracowanie_v3_FNEZ_czyste.pdf).
- European Commission. 2019. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, European Green Deal, COM(2019) 640 final, 11.12.2019 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>).
- Forum Energii. 2024. Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2024, s. 68 (<https://www.forum-energii.eu/transformacja-edycja-2024>; dostęp: 20.06.2024).
- Ginalski Z. 2020. Substraty dla biogazowni rolniczych (www.cdr.gov.pl/pol/OZE/substraty.pdf; dostęp: 10.06.2024).
- GUS. 2020. Rolnictwo w 2019 r. Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa.
- GUS. 2023a. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. Warszawa, s. 167–177.
- GUS. 2023b. Rocznik Statystyczny Rolnictwa. Warszawa, s. 141–161.
- Horschin T., Schaubach K., Sutor C., Thrän D. 2020. Stakeholder perceptions about sustainability governance in the German biogas sector. *Energy, Sustainability and Society*, 10(36): 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13705-020-00270-5>
- <http://sprawiedliwa-transformacja.pl/platforma-weglowa/> (dostęp: 10.05.2024).
- <http://un.org> (dostęp: 20.05.2024).
- https://arrtransformacja.org.pl/wp-content/uploads/2024/01/Diagnoza-kształcenie-zaw-Wielkopolska-Wschodnia_2023.pdf (dostęp: 10.05.2024).
- <https://bdl.stat.gov.pl/bdl> (dostęp: 20.06.2024).
- <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica> (dostęp: 20.06.2024).
- <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica> (dostęp: 20.06.2024).

- <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica> (dostęp: 20.06.2024).
- https://iea.blob.core.windows.net/assets/6d4dda5b-be1b-4011-9dad-49c56cdf69d1/NetZeroRoadmap_GlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf (dostęp: 10.05.2024).
- <https://ourworldindata.org/meat-production> (dostęp: 20.06.2024).
- <https://www.gov.pl/web/kowr/rejestr-wytworcow-biogazu-rolniczego> (dostęp: 1.07.2024).
- <https://www.wri.org/data> (dostęp: 20.05.2024).
- ISAAC. 2018. Increasing Social Awareness and Acceptance of biogas and biomethane (<https://cordis.europa.eu/project/id/691875/results>). <https://doi.org/10.3030/691875>
- Jasińska A. 2021. Usuwanie amoniaku jako etap obróbki wstępnej obornika w procesie fermentacji metanowej. [W:] M. Bogacka, K. Pikonia (red.), Współczesne problemy ochrony środowiska i energetyki. Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Politechnika Śląska, Gliwice, s. 33–43.
- Kaczmarek P. 2023. Różnicowanie przestrzenne podatności społeczno-ekonomicznej na zmiany klimatu w województwie wielkopolskim. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 66: 99–113. <https://doi.org/10.14746/rrpr.2023.66.07>
- Kosewska K., Kamiński J.R. 2008. Analiza ekonomiczna budowy i eksploatacji biogazowni rolniczych w Polsce. *Inżynieria Rolnicza*, 1(99): 189–194.
- Kozieł E., Sołtysiak M., Żurek M. 2023. Diagnoza w zakresie kształcenia zawodowego w Wielkopolsce Wschodniej w kontekście transformacji energetycznej. *Biblioteka Pedagogiki Pracy*, Konin, Oslo, Radom.
- Kozłowska K., Wierzbicka M., Zygmunt K. 2022. Społeczne aspekty budowy biogazowni rolniczych [W:] Babicz M., Nowakowicz-Dębek B., Kropiwek-Domańska K. (red.), *Wybrane zagadnienia z zakresu ochrony i zagrożeń środowiska*. T. 2. Lublin, s. 107–109. <https://doi.org/10.24326/mon.2022.10>
- Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A. 2007. Ocena prawna oraz analiza ekonomiczna możliwości realizacji celów wynikających ze Strategii energetyki odnawialnej oraz z dyrektywy 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27.09.2001 w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych. Warszawa, s. 76.
- Lyng K.-A., Bjerkestrand M., Elstad Stensgård A., Callewaert P., Jørgen Hanssen O. 2018. Optimising Anaerobic Digestion of Manure Resources at a Regional Level. *Sustainability*, 10: 286. <https://doi.org/10.3390/su10010286>
- Maj G., Piekarski W. 2014. Modelowy tok postępowania inwestycyjnego jako element prawidłowego zarządzania projektem budowy biogazowni rolniczej. [W:] R. Knosal (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. T. I. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, Opole, s. 867–877.
- Majewski E., Sulewski P., Wąs A. 2016. Potencjał i uwarunkowania produkcji biogazu rolniczego w Polsce. *Wydawnictwo SGGW*, Warszawa, s. 49–51.
- Makara A., Kowalski Z., Fela K. 2017. Zagospodarowanie substancji pofermentacyjnej w aspekcie bezpieczeństwa ekologicznego. *Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa*, 5: 177–190.
- Marcinkiewicz J., Poskrobko T. 2015. Wpływ elektrowni wiatrowych na percepcję krajobrazu w świetle badań empirycznych. *Ekonomia i Środowisko*, 2(53): 76–91.
- Marczak H. 2009. Aspekty energetycznego wykorzystania biogazu z odpadów na przykładzie województwa lubuskiego. *Inżynieria Ekologiczna*, 21: 97–108.
- Marzec T. 2023. Rozwój energetyki obywatelskiej na obszarach wiejskich w Polsce. *Przegląd Prawa Rolnego*, 1(32): 61–80. <https://doi.org/10.14746/ppr.2023.32.1.4>
- Mernild M.H. (red.) 2023. Producing more with less. Transforming global food system for a more sustainable and resilient future. *State of Green, Denmark* (<https://stateofgreen.com/en/publications/producing-more-with-less/>).
- Mroczek K., Rudy M., Gil M., Mroczek J.R. 2018. Możliwości zagospodarowania odpadów z produkcji drobiarskiej w zgodzie z zasadami biogospodarki. *Polish Journal for Sustainable Development*, 22(2): 93–100. <https://doi.org/10.15584/pjsd.2018.22.2.11>
- O’Neil S.G. 2021. Community obstacles to large scale solar: NIMBY and renewables. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 11: 85–92. <https://doi.org/10.1007/s13412-020-00644-3>
- Osiński Z., Patyra E. 2022. Nawozy naturalne i organiczne jako źródło zanieczyszczenia środowiska substancjami przeciwbakteryjnymi. *Med. Weter.*, 78(4): 173–183. <https://doi.org/10.21521/mw.6638>

- Pawlak J. 2013. Biogaz z rolnictwa – korzyści i bariery. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3(81): 99–108.
- Podkówka W. 2010. Oddziaływanie agrobiogazowni na środowisko. [W:] K. Węglarzy, W. Podkówka (red.), *Agrobiogazownia*. Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Doświadczalny Instytutu Zootechniki PIB Grodziec Śląski Sp. z o.o.. Grodziec Śląski, s. 18–19.
- Purnhagen K.P., Clemens S., Eriksson D., Fresco L.O., Tosun J., Qaim M., Visser R.G.F., Weber A.P.M., Wesseler J.H.H., Zilberman D. 2021. Europe's Farm to Fork Strategy and Its Commitment to Biotechnology and Organic Farming: Conflicting or Complementary Goals? *Trends in Plant Science*, 26, 6. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.03.012>
- Rahmann G., Reza Ardakani M., Bärberi P., Boehm H., Canali S., Chander M., David W., Dengel L., Erisman J.W., Galvis-Martinez A.C., Hamm U., Kahl J., Köpke U., Kühne S., Lee S.B., Løes A.-K., Moos J.H., Neuhof D., Nuutila J.T., Victor Olowe V., Oppermann R., Rembiałkowska E., Riddle J., Rasmussen I.A., Shade J., Sohn S.M., Tadesse T., Tashi S., Thatcher A., Uddin N., Fragstein, Niemsdorff P., Wibe A., Wivstad M., Wenliang W., Zanolli R. 2017. Organic Agriculture 3.0 is innovation with research. *Org. Agr.*, 7: 169–197. <https://doi.org/10.1007/s13165-016-0171-5>
- Rogulska M., Grzybek A., Szlachta J., Tys J., Krasuska E., Biernat K., Bajdor K. 2011. Powiązanie rolnictwa i energetyki w kontekście realizacji celów gospodarki niskoemisyjnej w Polsce. *Polish Journal of Agronomy*, 7: 92–101.
- Röös E., Mayer A., Muller A., Kalt G., Ferguson S., Erb K.-H., Hart R., Matej S., Kaufmann L., Pfeifer C., Frehner A., Smith P., Schwarz G. 2022. Agroecological practices in combination with healthy diets can help meet EU food system policy targets. *Science of the Total Environment*, 847: 157612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157612>
- Roszkowska S., Szubska-Włodarczyk N. 2022. What are the barriers to agricultural biomass market development? The case of Poland. *Environment Systems and Decisions*, 42: 75–84. <https://doi.org/10.1007/s10669-021-09831-1>
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/841 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie włączenia emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych w wyniku działalności związanej z użytkowaniem gruntów, zmianą użytkowania gruntów i leśnictwem do ram polityki klimatyczno-energetycznej do roku 2030 i zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013 oraz decyzję nr 529/2013/UE.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/1119 z dnia 30 czerwca 2021 r. w sprawie ustanowienia ram na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej i zmiany rozporządzeń (WE) nr 401/2009 i (UE) 2018/1999 (Europejskie Prawo o Klimacie).
- Skórnicki H., Litwinow A., Dominik A., Ginalska B., Ginalski Z., Gradka I., Kibler M., Kryzstoforski M., Pomykała D., Schönthaler J., Stachowicz T., Stachura W. 2010. Skrócone normatywy produkcji rolnej. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Radom, s. 100.
- Smurzyńska A., Dach J., Czekala W. 2016. Technologie redukujące emisję uciążliwych gazów powstających podczas chowu zwierząt gospodarskich. *Inżynieria Ekologiczna*, 47: 189–198. <https://doi.org/10.12912/23920629/62871>
- Sulewski P., Majewski E., Wąs A. 2017. Miejsce i rola rolnictwa w produkcji energii odnawialnej w Polsce i UE. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*: 50–74. <https://doi.org/10.30858/zer/82989>
- Taghikhah F., Voinov A., Shukla N., Filatova T. 2020. Exploring Consumer Behavior and Policy Options in Organic Food Adoption: Insights from the Australian Wine Sector. *Environmental Science and Policy*, 109: 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.001>
- Talwar S., Jabeen F., Tandon A., Sakashita M., Dhir A. 2021. What Drives Willingness to Purchase and Stated Buying Behavior Toward Organic Food? A Stimuluse Organisme Behaviore Consequence (SOBC) Perspective. *Journal of Cleaner Production*, 293(125882). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125882>
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2022. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2022.
- Topczewska J., Krupa W., Krupa S., Krempa A. 2022. Zrównoważona produkcja zwierzęca wyzwaniem przyszłości. *Polish Journal for Sustainable Development*, 26(1): 59–66.
- Urząd Statystyczny w Poznaniu. 2023. Rocznik Statystyczny Województwa Wielkopolskiego, Poznań, s. 128.
- Wałowski G. 2021. Development of biogas and biorafinery systems in Polish rural communities. *Journal of Water and Land Development*, 49 (IV–VI): 156–168. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.137108>

- Wielewska I. 2014. Rozwój OZE na obszarach wiejskich i ich wpływ na środowisko przyrodnicze w opinii doradców rolnych. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Problemy Rolnictwa Światowego, 14 (XXIX), 3: 186–195.
- Wielewska I. 2017. Oddziaływanie na środowisko naturalne odnawialnych źródeł energii w opinii mieszkańców powiatu chojnickiego. Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, 19, 1: 190–195. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0009.8793>
- Wilkie A.C. 2005. Anaerobic Digestion of Dairy Manure: Design and Process Considerations, Dairy Manure Management: Treatment, Handling, and Community Relations, NRAES-176. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, Cornell University, Ithaca NY, s. 301–312.
- Wiśniewski Ł. 2023. Regionalna bioróżnorodność upraw w polskim rolnictwie – zmiany w okresie członkostwa w Unii Europejskiej. Annals PAAAE, 25, 2: 137–148. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2778>
- Zaliwski A.S. 2007. Emisja gazów cieplarnianych przez rolnictwo. Studia i Raporty IUNG-PIB, 4: 35–47. <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2007.04.03>
- Zarząd Województwa Wielkopolskiego. 2021. Strategia na rzecz neutralności klimatycznej. Wielkopolska Wschodnia 2040, Poznań (https://wbpp.poznan.pl/download//129/strategia_na_rzecz_neutralnosc_klimatycznej_wielkopolska_wschodnia_2040.pdf).
- 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. <https://doi.org/10.17306/J.JARD.2017.00275>
- Żuchowska-Grzywacz M. 2024. Rolnictwo zrównoważone wobec współczesnych wyzwań. Zeszyty Prawnicze, 24, 1: 123–124. <https://doi.org/10.21697/zp.2024.24.1.09>

The biogas production from animal production waste as support for climate neutrality at the regional level: The case of Wielkopolska

Abstract: In the context of the current global challenges, the European Green Deal and the objective of achieving climate neutrality of the EU economy, actions and solutions that result in an improved economy and a reduction in anthropogenic greenhouse gas emissions contribute to the support of the energy transformation, thus bringing economies closer to zero emissions. Both the energy and agricultural sectors have been identified as significant contributors to greenhouse gas emissions. It has been demonstrated by scientific research that the EU's environmental and sustainable development goals will not be achievable without a reduction in meat and animal product consumption. A reduction in greenhouse gas emissions in the EU by 50% is feasible with a 54–71% reduction in meat consumption and a 62–78% increase in local food consumption (Rahmann et al. 2017, Purnhagen et al. 2021, Talwar et al. 2021, Rööös 2022). Conversely, the agriculture, forestry and land use (LULUCF) sector plays a pivotal, even foundational, role in carbon absorption. Wielkopolska is one of six voivodeships that have been designated for support through the Just Transition Fund, which is intended to offset the financial burden of climate policy and facilitate the transition to a low-carbon economy. For regions whose economies are based on coal, it is necessary to identify a development trajectory that can reduce the costs of implementing climate policy in the long term. The objective of this study is to estimate the theoretical potential of biogas production from animal excrement in the Wielkopolska voivodeship.

As demonstrated by research conducted by Zaliwski (2007), the Wielkopolska voivodeship is distinguished by elevated emissions of methane and nitrous oxide from agricultural activities. Consequently, the management of slurry for biogas production may represent a crucial component in the advancement of a low-emission economy. The production of biogas from animal excrement has the dual benefit of supporting the energy transformation of the region's economy and reducing the negative impact of animal production on the natural environment. Wielkopolska has demonstrated the highest potential for biogas production in the country, coupled with high animal production. The necessary areas for the strategic development of centralised biogas plants have been identified in light of the transformation of the Wielkopolska economy towards climate neutrality.

Key words: climate neutrality, zero emissions, energy transformation, biogas, animal production