

Antoni Faber, Zuzanna Jarosz

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

**ZASTĄPIENIE MINERALNYCH NAWOZÓW AZOTOWYCH
NAWOZAMI NATURALNYMI LUB ORGANICZNYMI
JAKO SPOSÓB NA OGRANICZENIE EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH
W CYKLU ŻYCIA BIOPALIW PŁYNNYCH***

Słowa kluczowe: bioetanol, biodiesel, gazy cieplarniane, nawozy azotowe, nawozy organiczne

Wstęp

Zaliczenie biopaliw płynnych do paliw odnawialnych wymaga spełnienia wymagań, które stanowi dyrektywa 2009/28/WE (1). Najważniejsze z nich dotyczą zrównoważonego rozwoju oraz zagwarantowania wymaganego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw.

Surowce rolne, nasiona rzepaku oraz ziarno kukurydzy i pszenicy, uprawiane na gruntach ornych, które historycznie były gruntami ornymi spełniają z zasady kryteria zrównoważonego rozwoju. Zasadniczym wymogiem w przypadku tych surowców jest spełnienie wymaganego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w stosunku do paliw konwencjonalnych. Zgodnie z dyrektywą 2015/1513 instalacje, działające w dniu 5 października 2015 r. lub przed tą datą, winny zapewniać ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 35% do dnia 31 grudnia 2017 r. i o co najmniej 50% od dnia 1 stycznia 2018 r. (2). W przypadku instalacji, które rozpoczęły działalność po 5 października 2015 r. wymagane jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 60% (2).

Wielkość emisji gazów cieplarnianych szacuje się dla całego cyklu życia biopaliw (1). W obliczeniach uwzględnia się emisje: związane z rolniczą produkcją surowca, transportem surowca, jego przechowywaniem, przekształceniem surowca w biopaliwo, transportem biopaliwa oraz dystrybucją biopaliwa na stacjach paliwowych (1).

W szacunkach emisji związanych z rolniczą produkcją surowca uwzględnia się plon ziarna (nasion), wilgotność ziarna, plon słomy, połowę emisję podtlenku azotu oraz zużycia środków produkcji (paliwa, azotu w nawozach, nawozów potasowych i fosforowych oraz pestycydów). Co roczne szacowanie emisji rolniczych nie jest

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.6 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

w Polsce niezbędne (4), gdyż są one mniejsze od standardowych emisji wyznaczonych w dyrektywie, które wynoszą (g CO₂ eq/MJ biopaliwa): kukurydza – 20, pszenica – 23, rzepak – 29 (1). Tylko w przypadku kukurydzy pochodzącej z województw podlaskiego, pomorskiego, świętokrzyskiego i warmińsko-mazurskiego emisje rolnicze były większe od emisji standardowych (4). Oznacza to, że w przypadku kukurydzy uprawianej w tych województwach konieczne jest szacowanie rzeczywistych emisji, zaś we wszystkich innych przypadkach emisje rolnicze przyjmuje się jako emisje standardowe.

W wielkości emisji gazów cieplarnianych, związanych z rolniczą produkcją surowców na cele paliwowe, największe udziały mają w kolejności: połowe emisje podtlenku azotu, emisje związane z produkcją nawozów mineralnych oraz emisje wynikające ze spalania paliw pędnych. Emisje połowe podtlenku azotu są co do wartości około dwa razy większe niż emisje powstające podczas produkcji nawozów azotowych. Powstają one wskutek biologicznych przemian azotu, mineralnego lub organicznego, wnoszonego do gleb wraz z nawozami, wskutek czego wydzielą się podtlenek azotu, gaz o najwyższym współczynniku ocieplania klimatu. Możliwości ograniczenia tych emisji w praktyce rolniczej są niewielkie. Ograniczenie emisji w przypadku emisji powstających podczas produkcji nawozów osiągnąć można poprzez unikanie przedawkowania azotu oraz wybór nawozów azotowych o mniejszych emisjach gazów cieplarnianych. Jednakże uzyskane w ten sposób poprawy ograniczenia emisji w cyklu życia biopaliw będą nadal małe w stosunku do potrzebnych dla uzyskania wymaganego 50% do 60% ograniczenia w stosunku do paliw konwencjonalnych. Znaczniejszej poprawy tych ograniczeń upatruje się niekiedy w zastąpieniu dawek azotu w nawozach mineralnych równoważnymi co do wielkości dawkami azotu w nawozach naturalnych lub organicznych. Może to być zastosowanie, zgodne z kodeksem dobrych praktyk, np. obornika, gnojowicy czy pozostałości pofermentacyjnych z biogazowni. W przypadku zastosowań tych nawozów emisja w produkcji nawozów mineralnych przyjmować będzie wartość „zero”, wzrośnie nieco połowa emisja podtlenku azotu, jednakże całkowita rolnicza emisja gazów cieplarnianych powinna znacząco zmaleć, zaś ograniczenia emisji w cyklu życia biopaliw wzrosnąć.

Celem opracowania jest oszacowanie wpływu na emisję rolniczą gazów cieplarnianych oraz ograniczenie emisji w cyklu życia biopaliw poprzez zastąpienie dawki mineralnego azotu równoważną dawką azotu w nawozach naturalnych lub organicznych.

Materiały i metodyka

W szacunkach rolniczych emisji gazów cieplarnianych oraz ograniczeń emisji gazów cieplarnianych wykorzystano dane zaczerpnięte z opracowania przyjętego przez Komisję Europejską (4). Były to średnie dla województw dane wymagane do obliczeń emisji zgodnie z dyrektywą 2009/28/WE oraz późniejszymi nowelizacjami (Tab. 1, 2 i 3). Szacunki wykonano dla podstawowych surowców wykorzystywanych

na cele produkcji biopaliw jakimi są ziarno kukurydzy i pszenicy oraz nasiona rzepaku. Przyjęto, że rośliny nawożone były azotem mineralnym lub azotem zawartym w nawozach naturalnych lub organicznych. W obu przypadkach dawki azotu były mniejsze lub równe 170 kg N/ha/t.

Wszystkie szacunki wykonano z użyciem arkusza kalkulacyjnego BIOGRACE. Arkusz zawierał standardowe wartości wszystkich parametrów z wyjątkiem emisji powstającej w trakcie produkcji mineralnych nawozów azotowych. Tą ostatnią wartość przyjęto jako 3414,2 g CO₂ eq/kg azotu w nawozie. Jest to średnia wartość dla asortymentów nawozów azotowych produkowanych w Polsce ustalona według wcześniejszych badań (4). Szacunki dla kukurydzy wykonano dla instalacji zasilanej energią z elektrociepłowni opalanej gazem ziemnym, a dla pszenicy dla instalacji wyposażonej w kocioł opalany gazem ziemnym. Całkowite emisje rolnicze oraz emisje rolnicze zmniejszone o wskaźniki alokacji (DDGS, śruta poekstrakcyjna) wyrażono w g CO₂ eq/MJ biopaliwa. Przeliczenia na potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) dokonano wykorzystując współczynniki: dwutlenk węgla (CO₂) – 1, metan (CH₄) – 25 oraz podtlenk azotu (N₂O) – 298. W obliczeniach ograniczenia emisji, wyrażonych w %, wykorzystano domyślne wartości współczynników dla emisji nierolniczych, które zawiera arkusz BIOGRACE. Zmieniono jedynie referencyjne wartości emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia paliw konwencjonalnych. Według obowiązującej nowelizacji wynoszą one (g CO₂ eq/MJ): etylina - 93,3 oraz olej napędowy – 95,1 (3).

Przedstawione szacunki emisji gazów cieplarnianych oraz ograniczeń emisji w przypadku nawozów naturalnych i organicznych mogą odnosić się do azotu zawartego w oborniku, gnojowicy czy masie pofermentacyjnej z biogazowni. Ze względu na znaczne różnice w zawartości węgla organicznego w tych nawozach w szacunkach pominięto zagadnienie akumulacji węgla organicznego w glebie wskutek ich stosowania.

Tabela 1

Średnie dla województw wartości parametrów wykorzystanych w szacunkach emisji gazów cieplarnianych powstających w uprawie kukurydzy na cele produkcji bioetanolu

Woj.	Plon ziarna (wil. 15%)	Plon słomy (sm)	Dawka azotu	Zużycie paliwa	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Zużycie pestycydów	Zużycie nasion	Polowa emisja N ₂ O	
										N mineralny	N organiczny
	kg·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹	MJ·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹	kg s.a.·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹
DŚ	7730	4599	141	2286	222	92	66	1,0	31	3,04	3,26
KP	7324	4358	134	3295	58	64	61	0,6	28	2,89	3,10
LB	7157	4258	130	2810	77	93	64	1,1	29	2,81	3,01
LS	6561	3904	102	3522	90	72	60	0,8	28	2,28	2,44
ŁD	6424	3822	104	2800	111	67	63	0,9	31	2,31	2,47
MP	6872	4089	109	3211	36	82	73	0,8	31	2,51	2,68
MZ	7603	4524	131	3066	95	84	65	1,0	30	2,86	3,06
OP	7046	4192	147	2749	149	80	53	1,5	30	3,09	3,32
PK	7709	4587	117	3489	261	101	72	0,9	28	2,62	2,80
PL	5250	3124	85	3404	348	65	59	0,6	31	1,90	2,03
PM	5333	3173	116	4104	70	127	82	0,7	32	2,44	2,62
ŚL	7802	4642	151	3296	62	94	62	0,8	31	3,21	3,45
ŚK	5886	3502	110	2721	69	97	66	1,6	28	2,38	2,55
WM	5400	3113	170	2916	80	120	65	0,8	35	3,38	3,65
WP	7330	4361	112	3921	146	42	44	0,9	27	2,51	2,68
ZP	5460	3249	130	2802	84	87	57	0,8	26	2,69	2,90

Źródło: European Commission, 2011 (4)

Tabela 2

Średnie dla województw wartości parametrów wykorzystanych w szacunkach emisji gazów cieplarnianych powstających w uprawie pszenicy na cele produkcji bioetanolu

Woj.	Plon ziarna (wzg. 15%) kg·ha ⁻¹	Plon słomy (sm) kg·ha ⁻¹	Dawka azotu kg·ha ⁻¹	Zużycie paliwa MJ·ha ⁻¹	CaO kg·ha ⁻¹	K ₂ O kg·ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	Zużycie pestycydów kg s.a.·ha ⁻¹	Zużycie nasion kg·ha ⁻¹	Polowa emisja	
										N mineralny kg·ha ⁻¹	N ₂ O kg·ha ⁻¹
DŚ	6847	4365	160	2254	-	64	56	2,6	186	3,75	4,00
KP	6829	4353	151	3845	-	34	30	2,0	218	3,59	3,82
LB	5852	3731	113	3580	-	44	50	1,8	209	2,80	2,98
LS	5956	3779	109	3821	-	64	52	2,0	232	2,74	2,92
LD	5426	3459	90	3625	-	62	50	1,8	201	2,35	2,49
MP	5667	3613	113	3382	-	53	54	2,0	207	2,78	2,95
MZ	6098	3887	123	3646	-	50	53	1,8	235	3,01	3,20
OP	6623	4222	153	2526	-	47	35	2,4	196	3,59	3,83
PK	5243	3343	71	3546	-	69	72	1,6	206	1,99	2,10
PL	5335	3401	100	3361	-	68	52	1,4	230	2,51	2,66
PM	5988	3817	118	3923	-	58	48	2,0	252	2,90	3,09
ŚL	5920	3774	123	3159	-	60	51	1,0	222	2,98	3,18
ŚK	5409	3449	88	3631	-	65	63	1,6	240	2,31	2,45
WM	5541	3532	108	3612	-	55	52	1,6	225	2,67	2,84
WP	6112	3896	109	3775	-	61	44	2,1	219	2,77	2,94
ZP	6360	4055	138	3269	-	41	44	2,0	232	2,30	3,52

Źródło: European Commission, 2011 (4)

Tabela 3

Średnie dla województw wartości parametrów wykorzystanych w szacunkach emisji gazów cieplarnianych powstających w uprawie rzepaku na cele produkcji biodiesla

Woj.	Plon ziarna (wil. 9%) kg·ha ⁻¹	Plon słomy (sm) kg·ha ⁻¹	Dawka azotu kg·ha ⁻¹	Zużycie paliwa MJ·ha ⁻¹	CaO kg·ha ⁻¹	K ₂ O kg·ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	Zużycie pestycydów kg s.a.·ha ⁻¹	Zużycie nasion kg·ha ⁻¹	Polowa emisja N ₂ O	
										N mineralny kg·ha ⁻¹	N organiczny kg·ha ⁻¹
DŚ	3348	4269	170	2737	211	90	55	1,9	3	4,13	4,40
KP	3397	4331	17	2642	190	95	57	1,7	3	4,15	4,41
LB	3210	4093	168	2495	174	94	63	1,8	3	4,04	4,31
LS	3501	4464	161	2714	144	91	57	1,8	3	4,03	4,28
ŁD	2867	3655	145	2518	235	80	48	1,6	4	3,53	3,75
MP	3214	4098	170	2502	89	86	54	2,2	3	4,08	4,35
MZ	3282	4184	167	2384	199	88	57	1,7	3	4,05	4,32
OP	3077	3923	164	2816	140	85	55	1,9	3	3,93	4,19
PK	3293	4199	140	2652	161	78	48	1,6	3	3,59	3,81
PL	2941	3750	170	2502	140	98	66	1,8	3	3,98	4,25
PM	3414	4353	170	3028	211	98	61	2,1	4	4,15	4,42
ŚL	3129	3990	168	2917	139	87	54	1,8	3	4,02	4,28
ŚK	3282	4185	170	2548	230	101	66	2,0	3	4,10	4,37
WM	3472	4427	170	2633	201	98	56	1,9	3	4,17	4,44
WP	3574	4556	162	2815	149	88	51	1,8	3	4,07	4,32
ZP	3466	4419	168	2784	223	92	55	1,9	3	4,14	4,40

Źródło: European Commission, 2011 (4)

Wyniki i dyskusja

W cyklu życia bioetanolu produkowanego z kukurydzy zastosowane nawożenie azotowe w postaci nawozów mineralnych powodowało emisje powstające w trakcie produkcji nawozów wynoszące 6,45 – 13,39 (średnio 8,03) g CO₂ eq/MJ, co stanowiło średnio 26% całkowitej średniej emisji gazów cieplarnianych (31,10 g CO₂ eq/MJ) (Tab. 4). Wielkości te zależne były od średnich dawek azotu mineralnego w poszczególnych województwach. Sumaryczne emisje rolnicze uwzględniające alokację (paszowe wykorzystanie DDGS) wahały się w granicach 14,59 – 25,16 (średnio 16,98) g CO₂ eq/MJ (Tab. 4). W województwach pomorskim, warmińsko mazurskim i zachodnio-pomorskim emisje te były większe od emisji standardowej (20 g CO₂ eq/MJ). W przypadku wykorzystywania surowców z tych województw koniecznym byłoby szacowanie rzeczywistych emisji rolniczych. W pozostałych 13 województwach o emisjach rolniczych mniejszych niż 20 g CO₂ eq/MJ ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu z kukurydzy wynosiły 56 – 60% (średnio 58%). Surowiec uzyskiwany w tych województwach zapewniałby wymagane ograniczenie emisji 50% od 1 stycznia 2018 r. dla instalacji działających w dniu 5 października 2015 r. lub przed tą datą. Dla instalacji nowych, które rozpoczęły działalność po 5 października 2015 r. surowiec zapewniający ograniczenie emisji 60% mógłby pochodzić jedynie z województwa łódzkiego.

Zastąpienie mineralnych nawozów azotowych azotem zawartym w nawozach naturalnych lub organicznych zmniejszyło całkowitą emisję rolniczą średnio do 24,16, a emisję rolniczą po odliczeniu alokacji do 13,20 g CO₂ eq/MJ, czyli odpowiednio o 22% (Tab. 5). Emisje rolnicze po odliczeniu alokacji wahały się w województwach w granicach 11,51 – 18,87 g CO₂ eq/MJ, były więc mniejsze od standardowej emisji 20 g CO₂ eq/MJ. Zwolniłoby to operatorów od szacowania emisji rzeczywistych oraz zapewniało pozyskiwanie surowca ze wszystkich województw i umożliwiło osiągnięcie ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu o 50%. Surowiec pochodzący z trzynastu województw zapewniałby osiągnięcie ograniczenia emisji o 60%.

W cyklu życia bioetanolu produkowanego z pszenicy zastosowane nawożenie azotowe w postaci nawozów mineralnych powodowało emisje powstające w trakcie produkcji nawozów wynoszące 6,02 – 10,39 (średnio 8,64) g CO₂ eq/MJ, co stanowiło średnio 23% całkowitej średniej emisji gazów cieplarnianych (37,62 g CO₂ eq/MJ) (Tab. 6). Wielkości te zależne były od średnich dawek azotu mineralnego w poszczególnych województwach.

Tabela 4
Emisje rolnicze gazów cieplarnianych oraz ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu produkowanego z kukurydzy nawożonej mineralnym azotem

Woj.	Emisje rolnicze (g CO ₂ eq/MJ)										Ograniczenie emisji (%)	
	Paliwo	N mineralny	N organiczny	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Pestycydy	Nasiona	Polowe N ₂ O	Emisja całkowita		Emisja całkowita minus alokacja
DŚ	3,23	7,76	0	0,46	0,86	1,08	0,18	0	14,60	28,16	15,38	59
KP	4,91	7,78	0	0,13	0,63	1,05	0,11	0	14,64	29,26	15,98	59
LB	4,29	7,72	0	0,17	0,94	1,13	0,21	0	14,57	29,03	15,86	59
LS	5,86	6,61	0	0,22	0,79	1,15	0,17	0	12,90	27,70	15,10	59
LD	4,76	6,88	0	0,28	0,75	1,24	0,19	0	13,35	27,45	14,99	60
MP	5,10	6,74	0	0,08	0,86	1,34	0,16	0	13,56	27,85	15,21	59
MZ	4,40	7,33	0	0,20	0,80	1,08	0,18	0	13,96	27,95	15,26	59
OP	4,26	8,87	0	0,34	0,82	0,95	0,29	0	16,28	31,81	17,40	56
PK	4,94	6,45	0	0,55	0,95	1,18	0,16	0	12,61	26,84	14,66	59
PL	7,08	6,88	0	1,07	0,89	1,42	0,16	0	13,43	30,93	16,89	57
PM	8,40	9,25	0	0,21	1,72	1,94	0,18	0	16,98	38,68	21,13	52
ŚL	4,61	8,23	0	0,13	0,87	1,00	0,14	0	15,27	30,25	16,52	57
ŚK	5,05	7,95	0	0,19	1,19	1,42	0,37	0	15,01	31,17	17,02	57
WM	5,89	13,39	0	0,24	1,60	1,52	0,20	0	23,23	46,08	25,16	48
WP	5,84	6,50	0	0,32	0,41	0,76	0,17	0	12,71	26,71	14,59	59
ZP	5,60	10,12	0	0,39	1,11	2,01	0,20	0	18,28	37,72	20,60	53

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5

Emisje rolnicze gazów cieplarnianych oraz ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu produkowanego z kukurydzy nawożonej nawozami naturalnymi lub organicznymi

Woj.	Emisje rolnicze (g CO ₂ eq/MJ)											Ograniczenie emisji (%)
	Paliwo	N mineralny	N organiczny	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Pestycydy	Nasiona	Polowe N ₂ O	Emisja całkowita	Emisja całkowita minus alokacja	
DŚ	3,23	0	0	0,46	0,86	1,08	0,18	0	15,65	21,46	11,72	63
KP	4,91	0	0	0,13	0,63	1,05	0,11	0	15,71	22,54	12,31	62
LB	4,29	0	0	0,17	0,94	1,13	0,21	0	15,61	22,35	12,20	63
LS	5,86	0	0	0,22	0,79	1,15	0,17	0	13,80	22,00	12,01	63
ŁD	4,76	0	0	0,28	0,75	1,24	0,19	0	14,27	21,49	11,74	63
MP	5,10	0	0	0,08	0,86	1,34	0,16	0	14,47	22,02	12,03	63
MZ	4,40	0	0	0,20	0,80	1,08	0,18	0	14,94	21,60	11,80	62
OP	4,26	0	0	0,34	0,82	0,95	0,29	0	17,49	24,15	13,19	61
PK	4,94	0	0	0,55	0,95	1,18	0,16	0	13,48	21,25	11,60	62
PL	7,08	0	0	1,07	0,89	1,42	0,16	0	14,35	24,97	13,64	60
PM	8,40	0	0	0,21	1,72	1,94	0,18	0	18,23	30,68	16,80	57
ŚL	4,61	0	0	0,13	0,87	1,00	0,14	0	16,41	23,16	12,65	61
ŚK	5,05	0	0	0,19	1,19	1,42	0,37	0	16,08	24,29	13,27	61
WM	5,89	0	0	0,24	1,60	1,52	0,20	0	25,09	34,55	18,87	55
WP	5,84	0	0	0,32	0,41	0,76	0,17	0	13,57	21,07	11,51	63
ZP	5,60	0	0	0,39	1,11	2,01	0,20	0	19,71	29,02	15,85	58

Źródło: opracowanie własne

Summaryczne emisje rolnicze, uwzględniające alokację (paszowe wykorzystanie DDGS), wahały się w granicach 19,76 – 23,33 (średnio 22,39) g CO₂ eq/MJ (Tab. 6). W województwach dolnośląskim, kujawsko-pomorskim, pomorskim, warmińsko-mazurskim i zachodnio-pomorskim emisje te były większe od emisji standardowej (23 g CO₂ eq/MJ). W przypadku wykorzystywania surowców z tych województw koniecznym byłoby szacowanie rzeczywistych emisji rolniczych. Ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu z pszenicy wynosiły, w pozostałych 11 województwach o emisjach rolniczych mniejszych niż 23 g CO₂ eq/MJ, 53 – 56% (średnio 54%). Surowiec uzyskiwany w tych województwach zapewniałby wymagane ograniczenie emisji 50% od 1 stycznia 2018 r. dla instalacji działających w dniu 5 października 2015 r. lub przed tą datą. Dla instalacji nowych, które rozpoczęły działalność po 5 października 2015 r. w żadnym województwie surowiec nie zapewniłby ograniczenie emisji 60%.

Zastąpienie mineralnych nawozów azotowych azotem zawartym w nawozach naturalnych lub organicznych zmniejszyło całkowitą emisję rolniczą średnio do 30,16, a emisję rolniczą po odliczeniu alokacji do 17,95 g CO₂ eq/MJ, czyli o 20% (Tab. 7). Emisje rolnicze po odliczeniu alokacji wahały się w województwach w granicach 16,66 – 18,63 g CO₂ eq/MJ, były więc mniejsze od standardowej emisji 23 g CO₂ eq/MJ. Zwolniłoby to operatorów od szacowania emisji rzeczywistych oraz zapewniało pozyskiwanie surowca ze wszystkich województw umożliwiającego osiągnięcie ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu o 50%. Surowiec pochodzący z województwa podkarpackiego zapewniałby osiągnięcie ograniczenia emisji o 60%.

W cyklu życia biodiesla produkowanego z rzepaku zastosowane nawożenie azotowe w postaci nawozów mineralnych powodowało emisje powstające w trakcie produkcji nawozów wynoszące 10,33 – 14,05 (średnio 12,3) g CO₂ eq/MJ, co stanowiło średnio 26% całkowitej średniej emisji gazów cieplarnianych (40,69 g CO₂ eq/MJ) (Tab. 8). Wielkości te zależne były od średnich dawek azotu mineralnego w poszczególnych województwach. Summaryczne emisje rolnicze uwzględniające alokację (paszowe wykorzystanie śruty poekstrakcyjnej) wahały się w granicach 24,25 – 30,48 (średnio 27,38) g CO₂ eq/MJ (Tab. 8). W województwie podlaskim emisja ta była większa od emisji standardowej (29 g CO₂ eq/MJ). W przypadku wykorzystywania surowców z tego województwa koniecznym byłoby szacowanie rzeczywistych emisji rolniczych. Ograniczenia emisji w cyklu życia biodiesla z rzepaku wynosiły, w pozostałych 15 województwach o emisjach rolniczych mniejszych niż 29 g CO₂ eq/MJ, 44 – 49% (średnio 46%). Surowiec uzyskiwany w tych województwach nie zapewniałby wymaganego ograniczenia emisji w cyklu życia biodiesla o 50% lub 60%.

Zastąpienie mineralnych nawozów azotowych azotem zawartym w nawozach naturalnych lub organicznych zmniejszyło całkowitą emisję rolniczą średnio do 35,25, a emisję rolniczą po odliczeniu alokacji do 21,10 g CO₂ eq/MJ, czyli o 24% (Tab. 9). Emisje rolnicze po odliczeniu alokacji wahały się w województwach w granicach 19,03 – 23,39 g CO₂ eq/MJ, były więc mniejsze od standardowej emisji 29 g CO₂ eq/MJ. Zwolniłoby to operatorów od szacowania emisji rzeczywistych oraz zapewniało pozyskiwanie surowca, ze wszystkich województw, umożliwiającego osiągnięcie ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu o 50%. W żadnym województwie nie uzyskiwano by surowca zapewniającego ograniczenie emisji w cyklu życia o 60%.

Tabela 6

Emisje rolnicze gazów cieplarnianych oraz ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu produkowanego z pszenicy nawożonej mineralnym azotem

Woj.	Emisje rolnicze (g CO ₂ eq/MJ)										Ograniczenie emisji (%)
	Paliwo	N mineralny	N organiczny	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Pestycydy	Nasiona	Polowe N ₂ O	Emisja całkowita minus alokacja	
DŚ	3,76	10,39	0	-	0,71	1,08	0,55	0,98	21,26	38,72	53
KP	6,43	9,83	0	-	0,38	0,58	0,42	1,15	20,41	39,20	53
LB	6,98	8,59	0	-	0,57	1,13	0,44	1,29	18,57	37,57	54
LS	7,32	8,14	0	-	0,81	1,15	0,48	1,41	17,86	37,17	54
ŁD	7,63	7,38	0	-	0,86	1,22	0,48	1,34	16,81	35,71	55
MP	6,81	8,87	0	-	0,71	1,26	0,51	1,38	19,04	38,58	53
MZ	6,83	8,97	0	-	0,62	1,15	0,42	1,39	19,16	38,54	53
OP	4,35	10,27	0	-	0,54	0,70	0,52	1,07	21,04	38,49	53
PK	7,72	6,02	0	-	0,99	1,81	0,44	1,49	14,73	33,21	56
PL	7,19	8,34	0	-	0,96	1,29	0,38	1,56	18,26	37,97	53
PM	7,48	8,76	0	-	0,73	1,06	0,48	1,52	18,80	38,83	53
ŚL	6,09	9,24	0	-	0,76	1,14	0,24	1,35	19,54	38,37	53
ŚK	7,66	7,24	0	-	0,91	1,54	0,42	1,60	16,58	35,95	55
WM	7,44	8,67	0	-	0,75	1,24	0,41	1,47	18,71	38,68	53
WP	7,05	7,93	0	-	0,75	0,95	0,49	1,29	17,59	36,07	55
ZP	5,87	9,65	0	-	0,49	0,91	0,45	1,32	20,14	38,83	53

Źródło: opracowanie własne

Tabela 7

Emisje rolnicze gazów cieplarnianych oraz ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu produkowanego z pszenicy nawożonej nawozami naturalnymi lub organicznymi

Woj.	Emisje rolnicze (g CO ₂ eq/MJ)										Ograniczenie emisji (%)	
	Paliwo	N mineralny	N organiczny	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Pestycydy	Nasiona	Polowe N ₂ O	Emisja całkowita		Emisja całkowita minus alokacja
DŚ	3,76	0	0	-	0,71	1,08	0,55	0,98	22,68	29,75	17,70	59
KP	6,43	0	0	-	0,38	0,58	0,42	1,15	21,71	30,67	18,25	58
LB	6,98	0	0	-	0,57	1,13	0,44	1,29	19,77	30,18	17,96	58
LS	7,32	0	0	-	0,81	1,15	0,48	1,41	19,03	30,21	17,98	58
ŁD	7,63	0	0	-	0,86	1,22	0,48	1,34	17,81	29,33	17,46	59
MP	6,81	0	0	-	0,71	1,26	0,51	1,38	20,21	30,87	18,37	58
MZ	6,83	0	0	-	0,62	1,15	0,42	1,39	20,37	30,78	18,32	58
OP	4,35	0	0	-	0,54	0,70	0,52	1,07	22,45	29,62	17,63	59
PK	7,72	0	0	-	0,99	1,81	0,44	1,49	15,55	28,00	16,66	60
PL	7,19	0	0	-	0,96	1,29	0,38	1,56	19,35	30,73	18,29	58
PM	7,48	0	0	-	0,73	1,06	0,48	1,52	20,03	31,30	18,63	58
ŚL	6,09	0	0	-	0,76	1,14	0,24	1,35	20,85	30,44	18,12	58
SK	7,66	0	0	-	0,91	1,54	0,42	1,60	17,58	29,72	17,69	59
WM	7,44	0	0	-	0,75	1,24	0,41	1,47	19,90	31,21	18,57	58
WP	7,05	0	0	-	0,75	0,95	0,49	1,29	18,67	29,21	17,39	59
ZP	5,87	0	0	-	0,49	0,91	0,45	1,32	21,48	30,52	18,16	58

Źródło: opracowanie własne

Tabela 8

Emisje rolnicze gazów cieplarnianych oraz ograniczenia emisji w cyklu życia biodiesla produkowanego z rzepaku nawożonej mineralnym azotem

Woj.	Emisje rolnicze (g CO ₂ eq/MJ)										Ograniczenie emisji (%)	
	Paliwo	N mineralny	N organiczny	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Pestycydy	Nasiona	Polowe N ₂ O	Emisja całkowita minus alokacja		
DŚ	5,10	12,34	0	0,58	1,11	1,19	0,45	0,05	26,17	46,97	27,52	45
KP	4,85	12,16	0	0,52	1,15	1,21	0,39	0,05	25,91	46,25	27,09	46
LB	4,85	12,72	0	0,50	1,21	1,42	0,44	0,05	26,70	47,88	28,05	45
LS	4,84	11,18	0	0,38	1,07	1,17	0,40	0,04	24,42	43,50	25,49	47
ŁD	5,48	12,29	0	0,76	1,15	1,21	0,44	0,07	26,12	47,51	27,84	45
MP	4,86	12,85	0	0,26	1,10	1,21	0,54	0,05	26,93	47,79	28,40	45
MZ	4,53	12,37	0	0,56	1,11	1,25	0,41	0,05	26,17	46,44	27,21	46
OP	5,71	12,95	0	0,42	1,14	1,29	0,48	0,05	27,09	49,14	28,79	44
PK	5,02	10,33	0	0,45	0,98	1,05	0,38	0,05	23,12	41,39	24,25	49
PL	5,31	14,05	0	0,44	1,37	1,62	0,48	0,05	28,70	52,02	30,48	42
PM	5,53	12,10	0	0,57	1,18	1,29	0,48	0,06	25,78	47,01	27,54	45
ŚL	5,82	13,05	0	0,41	1,15	1,24	0,45	0,05	27,25	49,42	28,95	44
ŚK	4,84	12,59	0	0,65	1,27	1,45	0,48	0,05	26,50	47,82	28,02	45
WM	4,73	11,90	0	0,54	1,16	1,16	0,43	0,05	25,48	45,44	26,62	46
WP	4,91	11,02	0	0,39	1,02	1,03	0,40	0,04	24,15	42,95	25,17	48
ZP	5,01	11,78	0	0,60	1,09	1,14	0,43	0,05	25,34	45,43	26,62	46

Źródło: opracowanie własne

Tabela 9

Emisje rolnicze gazów cieplarnianych oraz ograniczenia emisji w cyklu życia biodiesla produkowanego z rzepaku nawożonego nawozami naturalnymi lub organicznymi

Woj.	Emisje rolnicze (g CO ₂ eq/MJ)										Ograniczenie emisji (%)	
	Paliwo	N mineralny	N organiczny	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Pestycydy	Nasiona	Polowe N ₂ O	Emisja całkowita		Emisja całkowita minus alokacja
DŚ	5,10	0	0	0,58	1,11	1,19	0,45	0,05	27,88	36,34	21,29	52
KP	4,85	0	0	0,52	1,15	1,21	0,39	0,05	27,54	35,71	20,92	52
LB	4,85	0	0	0,50	1,21	1,42	0,44	0,05	26,70	35,16	20,60	53
LS	4,84	0	0	0,38	1,07	1,17	0,40	0,04	25,93	33,84	19,83	54
ŁD	5,48	0	0	0,76	1,15	1,21	0,44	0,07	27,74	36,85	21,59	52
MP	4,86	0	0	0,26	1,10	1,21	0,54	0,05	28,51	36,52	21,40	52
MZ	4,53	0	0	0,56	1,11	1,25	0,41	0,05	27,92	35,82	20,99	52
OP	5,71	0	0	0,42	1,14	1,29	0,48	0,05	28,88	37,98	22,25	51
PK	5,02	0	0	0,45	0,98	1,05	0,38	0,05	24,54	32,47	19,03	54
PL	5,31	0	0	0,44	1,37	1,62	0,48	0,05	30,65	39,93	23,39	50
PM	5,53	0	0	0,57	1,18	1,29	0,48	0,06	27,46	36,58	21,43	52
ŚL	5,82	0	0	0,41	1,15	1,24	0,45	0,05	29,01	38,13	22,34	51
ŚK	4,84	0	0	0,65	1,27	1,45	0,48	0,05	28,24	36,98	21,67	52
WM	4,73	0	0	0,54	1,16	1,16	0,43	0,05	27,12	35,19	20,62	53
WP	4,91	0	0	0,39	1,02	1,03	0,40	0,04	25,64	33,42	19,58	54
ZP	5,01	0	0	0,60	1,09	1,14	0,43	0,05	26,93	35,25	20,65	53

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Zastąpienie azotu w nawozach mineralnych równą co do wielkości, ale nie większą od 170 kg N/ha/r, dawką azotu w nawozach naturalnych lub organicznych wpłynęłoby na:

1. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych związanych z uprawą kukurydzy średnio o 22% i uzyskanie surowca o emisjach 12 – 19 g CO₂ eq/MJ we wszystkich województwach. Byłyby to emisje mniejsze od emisji standardowych (20 g CO₂ eq/MJ), co czyniłoby zbędnym szacowanie emisji rzeczywistych. Z tytułu obniżenia emisji rolniczych możliwym byłoby we wszystkich województwach pozyskiwanie surowca zapewniającego ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu o 50%. Surowiec pozyskiwany w 13 województwach zapewniałby ograniczenie emisji o 60%.
2. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych związanych z uprawą pszenicy średnio o 20% i uzyskanie surowca o emisjach 17 – 19 g CO₂ eq/MJ we wszystkich województwach. Byłyby to emisje mniejsze od emisji standardowych (23 g CO₂ eq/MJ), co czyniłoby zbędnym szacowanie emisji rzeczywistych. Z tytułu obniżenia emisji rolniczych możliwym byłoby we wszystkich województwach pozyskiwanie surowca zapewniającego ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu o 50%. Surowiec pochodzący z województwa podkarpackiego zapewniałby ograniczenie emisji o 60%.
3. Zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych związanych z uprawą rzepaku średnio o 24% i uzyskanie surowca o emisjach 19 – 24 g CO₂ eq/MJ we wszystkich województwach. Byłyby to emisje mniejsze od emisji standardowych (29 g CO₂ eq/MJ), co czyniłoby zbędnym szacowanie emisji rzeczywistych. Z tytułu obniżenia emisji rolniczych możliwym byłoby we wszystkich województwach pozyskiwanie surowca zapewniającego ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu o 50%. W żadnym województwie nie uzyskiwano by surowca zapewniającego ograniczenie emisji w cyklu życia o 60%.

Literatura

1. Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, 2009. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 140/16, 5.6.2009, PL (<http://eurlex.europa.eu/legacontent/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>).
2. Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej, 2015. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/1513 z dnia 9 września 2015 r. zmieniająca dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do jakości benzyny i olejów napędowych oraz zmieniająca dyrektywę 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 239/1, 15.9.2015, PL (<http://eurlex.europa.eu/legalcontent/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L1513&from=EN>).

3. Rada UE, 2015. Dyrektywa Rady (UE) 2015/652 z dnia 20 kwietnia 2015 r. ustanawiająca metody obliczania i wymogi w zakresie sprawozdawczości zgodnie z dyrektywą 98/70/WE Parlamentu Europejskiego i Rady odnoszącą się do jakości benzyny i olejów napędowych. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 107/26, 25.4.2015, PL (<http://eurlex.europa.eu/legalcontent/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0652&from=EN>).
4. European Commission. Energy. Biofuel. Emission from biofuels cultivation – national reports. EU country reports assessed by the Commission. 2009_0028_19_2. 19.2 Poland.eu “Greenhouse gasses (CO₂, N₂O and CH₄) emission levels of for wheat, triticale, maize and rye cultivated for the production of bio-ethanol and rape cultivated for bio-diesel (8. Annexes including input data for estimations and the results of estimations of agricultural emissions of GHG”, Warsaw, October 2011 (<http://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels>).

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Antoni Faber
Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8 , 24-100 Puławy
tel. (81) 47 86 767
e-mail: faber@iung.pulawy.pl