

Zuzanna Jarosz, Antoni Faber

Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach

MOŻLIWOŚĆ ZMNIEJSZENIA EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH W CYKLU ŻYCIA BIOPALIW

*THE POSSIBILITY OF REDUCING GREEN HOUSE GAS EMISSIONS IN LIFE
CYCLE OF BIOFULES*

Słowa kluczowe: biopaliwa, emisja gazów cieplarnianych, model DNDC, zrównoważona produkcja biopaliw

Key words: biofuels, greenhouse gas emission, DNDC model, sustainable production of biofuels

Abstrakt. Celem badań było określenie możliwości zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw dzięki zastosowaniu modelu DNDC do szacowania podtlenku azotu. Badania wykazały, że zastąpienie szacunków emisji polowych N_2O wykonanych metodą IPCC dokładniejszymi szacunkami tej emisji uzyskanymi z modelu DNDC zwiększy ograniczenia emisji o 3-15%. Jest to bezkosztowy sposób uzyskania większych ograniczeń emisji GHG w cyklu życia (LCA) bioetanolu produkowanego z pszenicy ozimej i kukurydzy oraz biodiesla produkowanego z rzepaku ozimego.

Wstęp

Zagwarantowanie bezpieczeństwa energetycznego połączonego z przeciwdziałaniem zmianom klimatu i ochronie środowiska skłania do ograniczenia wykorzystania nośników kopalnych przez większe wykorzystanie odnawialnych źródeł energii (OZE), w tym biopaliw. Wzrost zainteresowania OZE zaowocował wieloma ważnymi dyrektywami Unii Europejskiej (UE). Jedną z nich jest dyrektywa 2009/28/WE (RED), promująca zużycie energii ze źródeł odnawialnych przy jednoczesnym zapewnieniu ochrony środowiska [Dz.U. UE L 09.140.16.2009]. Zgodnie z wytycznymi dyrektywy 2009/28/WE, wytwarzane i wprowadzane na rynek biopaliwa powinny spełniać kryteria zrównoważonego rozwoju. Głównym wymogiem w zakresie zrównoważonej produkcji biopaliw jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych – GHG (*greenhouse gas*), szacowane metodą cyklu życia (LCA). Metoda ta pozwala oszacować emisyjność całego cyklu produkcji biopaliw i określić ograniczenie emisji w stosunku do paliw konwencjonalnych.

W szacunkach całkowitych emisji gazów cieplarnianych należy uwzględniać wielkości emisji rolniczych powstających z uprawy surowców na cele paliwowe. W strukturze emisji rolniczych największy udział mają emisje polowe N_2O . Do szacowania emisji podtlenku azotu dyrektywa 2009/28/WE zaleca stosowanie metodyki IPCC. Pozostawia jednak także możliwość stosowania dokładniejszych metod (modeli).

Celem opracowania było określenie możliwości zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw dzięki zastosowaniu modelu DNDC (*Denitrification – Decomposition*) do szacowania emisji podtlenku azotu.

Material i metodyka badań

W badaniach wykorzystano zagregowane dane dla województw pochodzące z symulacji wykonanych dla 136 kwadratów o boku 50 x 50 km pokrywających cały kraj. Symulacje wykonywano z zastosowaniem modelu DNDC [*The DNDC model 2015*]. Był on wykorzystywany do symulowania i analiz przemian węgla i azotu na terenie Europy [Leip i in. 2007, 2008, Vries De i in. 2011]. Również w Wielkiej Brytanii symulowano emisje N_2O w skali regionalnej z zasto-

sowaniem modelu DNDC [*Carbon and Sustainability...* 2009]. Skutecznie także wykorzystano model do symulacji sekwestracji węgla organicznego w Polsce [Faber i in. 2013].

Skalibrowany i zweryfikowany do warunków Polski model DNDC użyto do symulacji emisji polowych N_2O . Uzyskane wyniki (podtlenek azotu, plony, dawki N, sekwestracje węgla) posłużyły do oszacowania całkowitej emisji i ograniczeń emisji gazów cieplarnianych. Pozostałe dane dotyczące produkcji rolnej pochodziły z badań ankietowych obejmujących gospodarstwa wytwarzające surowce na cele paliwowe z: pszenicy ozimej – 272, kukurydzy – 275 i rzepaku ozimego – 1218.

Zgodnie z wymaganiami dyrektywy 2009/28/WE, istnieje możliwość wpływania na wielkość emisji i ich ograniczeń przez zwiększenie sekwestracji węgla poprzez poprawę agrotechniki [*Decyzja Komisji...* Dz.U. UE L 2010.151.19. 2010]. Szacunki wykonano dla czterech wariantów uprawy:

1. uprawa płuzna przy zbiorze wszystkich resztek poźniwnych,
2. uprawa płuzna i przyorywanie wszystkich resztek poźniwnych,
3. uprawa uproszczona i pozostawienie wszystkich resztek poźniwnych na polu,
4. uprawa bezorkowa i pozostawienie wszystkich resztek poźniwnych na polu.

Szacunki całkowitej emisji i ograniczeń emisji GHG wykonano z użyciem kalkulatora Biograce wersja 4 public [*Biograce. Harminised...* 2011].

Wyniki badań

Spełnienie wymagań dyrektywy 2009/28/WE i możliwość uzyskania od 2017 roku 50-procentowego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw ma istotne znaczenie dla Polskich rafinerii. Porównanie oszacowań emisji podtlenku azotu z uprawy surowców na cele paliwowe z zastosowaniem dwóch metod zalecanych przez dyrektywę 2009/28/WE wykazało, że szacunki uzyskane z dokładniejszej metody, czyli modelu DNDC, stanowiły 16-63% emisji szacowanych metodą IPCC [Faber i in. 2013]. Dla pszenicy ozimej udział emisji N_2O oszacowanych modelem DNDC w emisjach IPCC wynosił 20-26% [Jarosz, Faber 2015a]. Uzyskane wyniki dały asumpt do podjęcia dalszych analiz. Prowadzone badania zmierzały do określenia, w jakim stopniu wykorzystanie w szacunkach całkowitych emisji GHG, podtlenku azotu symulowanego z zastosowaniem modelu DNDC zwiększy ograniczenia emisji w cyklu życia (LCA) bioetanolu produkowanego z pszenicy ozimej i kukurydzy oraz biodiesla produkowanego z rzepaku ozimego.

Oszacowane całkowite emisje gazów cieplarnianych z produkcji pszenicy uprawianej w systemie płuznym ze zbiorem wszystkich resztek poźniwnych mieściły się w zakresie 32-38 g CO_2 eq/MJ bioetanolu (tab. 1, wariant 1.). Zastosowanie uprawy płuznej z pozostawieniem słomy na polu znacznie redukuje wielkości emisji GHG wskutek zwiększonej sekwestracji węgla w glebie. Oszacowane dla poszczególnych województw emisje wahały się w przedziale od -1,8 do 13,0 g CO_2 eq/MJ (tab. 1, wariant 2.). Na podobnym poziomie kształtowały się emisje pochodzące z uprawy uproszczonej z pozostawieniem resztek poźniwnych (tab. 1, wariant 3.). Wprowadzenie siewu bezpośredniego zapewniającego największe sekwestracje węgla w glebie spowodowało, że oszacowane emisje w cyklu życia bioetanolu produkowanego z pszenicy przyjmowały wartości ujemne (tab. 1, wariant 4.).

Produkcja bioetanolu z kukurydzy uprawianej w systemie płuznym ze zbiorem słomy związana była z emisjami 34-51 g CO_2 eq/MJ bioetanolu (tab. 2, wariant 1.). Przyoranie resztek poźniwnych spowodowało wzrost sekwestracji węgla w glebie i znaczne obniżenie wielkości emisji GHG (tab. 2, wariant 2.). Wielkość emisji pochodzących z uprawy kukurydzy w systemie uproszczonym z pozostawieniem na polu całej ilości resztek poźniwnych wahała się w przedziale 7-15 g CO_2 eq/MJ bioetanolu (tab. 2, wariant 3.). Najmniejsze wartości całkowitej emisji gazów cieplarnianych stwierdzono w uprawie bezorkowej z pozostawieniem słomy na polu (tab. 2, wariant 4.). Siew bezpośredni zapewnia największe sekwestracje węgla w glebie, a tym samym najmniejsze emisje.

Znaczną zmiennością charakteryzowały się oszacowane emisje gazów cieplarnianych w cyklu życia biodiesla z rzepaku w zależności od poprawy agrotechniki. Produkcja biodiesla z rzepaku pochodzącego z uprawy płuznej ze zbiorem słomy związana była z emisjami w przedziale 42-47 g CO_2 eq/MJ biodiesla (tab. 3, wariant 1.). Wzrost sekwestracji węgla w glebie spowodowany przyoraniem resztek poźniwnych wpłynął na obniżenie emisji do poziomu 0-17 g CO_2 eq/MJ

(tab. 3, wariant 2.). Mniejsze emisje oszacowano z produkcji biodiesla z rzepaku uprawianego w systemie uproszczonym z pozostawieniem na polu resztek poźniwnych (tab. 3, wariant 3.). Uprawa bezorkowa z pozostawianiem słomy, zapewniająca największe sekwestracje węgla, spowodowała, że po odliczeniu akumulowanego w glebie węgla emisje przyjmowały wartości ujemne (tab. 3, wariant 4.).

Dla wszystkich surowców oszacowano ograniczenie emisji w stosunku do paliwa konwencjonalnego. W przypadku pszenicy ograniczenie GHG w systemie uprawy płuznej ze zbiorem słomy

Tabela 1. Zmienność wielkości całkowitej emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu w zależności od poprawy agrotechniki z uwzględnieniem szacunku N₂O metodą DNDC

Table 1. Variability in total greenhouse gas emissions in the life cycle of bioethanol from wheat depending on the improvement of agricultural technology, with regard to N₂O emissions estimated by the DNDC methodology

Województwo/ Province	Całkowite emisje gazów cieplarnianych [g CO ₂ eq/MJ bioetanolu] (warianty)/Total greenhouse gas emissions [g CO ₂ eq/MJ bioethanol] (variants)			
	1.*	2.	3.	4.
Dolnośląskie	32,19	3,66	4,78	-94,17
Kujawsko-pomorskie	34,56	5,45	5,64	-83,16
Lubelskie	33,28	3,23	3,48	-109,12
Lubuskie	38,44	13,01	12,77	-72,61
Łódzkie	33,87	1,42	0,82	-105,50
Małopolskie	32,21	-2,40	-1,96	-116,35
Mazowieckie	33,76	3,13	3,08	-108,40
Opolskie	31,73	-1,77	-1,02	-106,70
Podkarpackie	32,74	0,20	0,42	-118,73
Podlaskie	34,02	2,57	1,49	-113,90
Pomorskie	32,85	2,51	3,09	-103,70
Śląskie	32,57	-3,44	-2,95	-116,77
Świętokrzyskie	32,14	2,69	2,50	-94,52
Warmińsko-mazurskie	33,06	2,40	3,06	-117,77
Wielkopolskie	33,38	6,93	7,37	-85,02
Zachodniopomorskie	31,90	3,34	3,55	-87,37

* warianty/variants:

1. uprawa płuzna przy zbiorze wszystkich resztek poźniwnych/*tillage with the total quantity of crop residues collection*,
2. uprawa płuzna i przyorywanie wszystkich resztek poźniwnych/*tillage with the total quantity of crop residues incorporation*,
3. uprawa uproszczona i pozostawienie wszystkich resztek poźniwnych na polu/*reduced tillage and leaving entire amount of crop residues at the field*,
4. uprawa bezorkowa i pozostawienie wszystkich resztek poźniwnych na polu/*no tillage and leaving entire amount of crop residues at the field*

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Tabela 2. Zmienność wielkości całkowitej emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu z kukurydzy w zależności od poprawy agrotechniki z uwzględnieniem szacunku N₂O metodą DNDC

Table 2. Variability in total greenhouse gas emissions in the life cycle of bioethanol from corn depending on the improvement of agricultural technology, with regard to N₂O emissions estimated by the DNDC methodology

Województwo/ Province	Całkowite emisje gazów cieplarnianych [g CO ₂ eq/MJ bioetanolu] (warianty)/Total greenhouse gas emissions [g CO ₂ eq/MJ bioethanol] (variants)			
	1.*	2.	3.	4.
Dolnośląskie	38,01	11,48	12,98	-83,98
Kujawsko-pomorskie	45,57	8,24	7,01	-113,66
Lubelskie	34,26	11,86	11,90	-76,27
Lubuskie	51,21	14,37	14,54	-112,33
Łódzkie	36,73	10,05	7,63	-87,17
Małopolskie	33,63	9,88	9,68	-79,10
Mazowieckie	35,38	10,53	9,70	-86,76
Opolskie	35,55	10,45	10,26	-65,91
Podkarpackie	34,04	11,57	11,04	-80,27
Podlaskie	36,89	10,18	8,27	-99,43
Pomorskie	36,29	7,81	7,18	-107,65
Śląskie	34,69	9,25	8,92	-79,44
Świętokrzyskie	35,15	11,64	10,92	-68,73
Warmińsko-mazurskie	35,31	9,94	9,70	-99,23
Wielkopolskie	41,28	9,62	10,33	-98,20
Zachodniopomorskie	39,22	7,71	7,27	-104,49

* oznaczenia 1-4 jak w tab. 1/designation 1-4 see tab. 1

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Tabela 3. Zmienność wielkości całkowitej emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biodiesla z rzepaku w zależności od poprawy agrotechniki z uwzględnieniem szacunku N₂O metodą DNDC

Table 3. Variability in total greenhouse gas emissions in the life cycle of biodiesel from rape depending on the improvement of agricultural technology, with regard to N₂O emissions estimated by the DNDC methodology

Województwo/ Province	Całkowite emisje gazów cieplarnianych [g CO ₂ eq/MJ bioetanolu] (warianty)/ Total greenhouse gas emissions [g CO ₂ eq/MJ bioethanol] (variants)			
	1.*	2.	3.	4.
Dolnośląskie	43,10	8,67	9,01	-115,43
Kujawsko-pomorskie	44,82	8,22	6,99	-104,05
Lubelskie	43,86	5,60	5,39	-144,93
Lubuskie	47,21	17,28	16,64	-87,37
Łódzkie	41,90	4,42	3,20	-119,81
Małopolskie	42,84	-2,30	-3,79	-159,30
Mazowieckie	42,21	5,57	4,42	-136,58
Opolskie	42,53	3,27	2,46	-120,54
Podkarpackie	42,24	0,84	-0,82	-158,69
Podlaskie	44,58	4,12	1,45	-162,72
Pomorskie	43,62	4,35	4,17	-139,07
Śląskie	41,87	-0,17	-1,50	-142,72
Świętokrzyskie	42,99	3,20	1,97	-132,27
Warmińsko-mazurskie	43,44	4,60	4,52	-156,66
Wielkopolskie	42,33	10,49	11,03	-104,10
Zachodniopomorskie	43,03	6,99	6,32	-113,49

* oznaczenia 1-4 jak w tab. 1/designation 1-4 see tab. 1

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Tabela 4. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu z pszenicy w zależności od poprawy agrotechniki z uwzględnieniem szacunku N₂O metodą DNDC

Table 4. Reducing greenhouse gas emissions in the life cycle of bioethanol from wheat depending on the improvement of agricultural technology, with regard to N₂O emissions estimated by the DNDC methodology

Województwo/ Province	Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych/ Reducing greenhouse gas emissions [%]			
	1.*	2.	3.	4.
Dolnośląskie	62	96	95	213
Kujawsko-pomorskie	58	94	93	199
Lubelskie	61	96	96	231
Lubuskie	55	84	84	187
Łódzkie	59	99	100	226
Małopolskie	62	104	102	239
Mazowieckie	59	95	96	230
Opolskie	62	102	102	227
Podkarpackie	62	99	100	241
Podlaskie	59	98	98	236
Pomorskie	60	97	96	224
Śląskie	62	105	103	240
Świętokrzyskie	61	96	98	213
Warmińsko-mazurskie	60	97	97	240
Wielkopolskie	60	92	91	201
Zachodniopomorskie	62	96	95	205

* oznaczenia 1-4 jak w tab. 1/designation 1-4 see tab. 1

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

mieściło się w przedziale 55-62% (tab. 4, wariant 1.). Badania własne dotyczące ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, w których emisje polowe N₂O szacowano metodą IPCC, wykazały, że bioetanol zapewniający ograniczenie emisji GHG $\geq 50\%$ można by produkować z pszenicy pochodzącej z 15 województw [Jarosz, Faber 2015b]. Zastąpienie szacunków emisji podtlenku azotu dokładniejszymi szacunkami tej emisji uzyskanymi z modelu DNDC pozwoliłyby zwiększyć ograniczenia emisji średnio o 8%. Uzyskane wyniki wskazują, że możliwe jest także w 11 województwach uzyskanie emisji GHG $\geq 60\%$, czyli spełnienie wymagań dyrektywy 2009/28/WE obowiązujących od 2018 roku dla instalacji nowych, rozpoczynających produkcję od 2017 roku (tab. 4, wariant 1.). Poprawa agrotechniki w uprawie pszenicy znacznie zwiększa ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.

Stosowanie kukurydzy do produkcji bioetanolu zapewnia mniejsze ograniczenia emisji niż stosowanie pszenicy. Produkcja bioetanolu z uprawy kukurydzy w systemie uprawy płuznej ze zbiorem resztek poźniwnych zapewnia spełnienie kryterium ograniczenia emisji $\geq 50\%$ w 14 województwach (tab. 5, wariant 1.). Zastosowanie modelu DNDC do symulowania emisji podtlenku azotu pozwoliło na rozszerzenie bazy surowcowej o województwo wielkopolskie i

Tabela 5. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu z kukurydzy w zależności od poprawy agrotechniki z uwzględnieniem szacunku N₂O metodą DNDC

Table 5. Reducing greenhouse gas emissions in the life cycle of bioethanol from corn depending on the improvement of agricultural technology, with regard to N₂O emissions estimated by the DNDC methodology

Województwo/Province	Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych/ Reducing greenhouse gas emissions [%]			
	1.*	2.	3.	4.
Dolnośląskie	55	86	85	200
Kujawsko-pomorskie	45	91	92	235
Lubelskie	59	86	86	191
Lubuskie	39	82	82	234
Łódzkie	57	88	91	204
Małopolskie	60	88	89	195
Mazowieckie	58	88	89	203
Opolskie	57	88	87	178
Podkarpackie	59	86	87	195
Podlaskie	56	87	90	219
Pomorskie	57	91	91	228
Śląskie	59	88	90	194
Świętokrzyskie	57	85	87	182
Warmińsko-mazurskie	57	89	88	218
Wielkopolskie	51	88	88	217
Zachodniopomorskie	54	90	92	225

* oznaczenia 1-4 jak w tab. 1/designation 1-4 see tab. 1

Źródło: opracowanie własne
Source: own study

Tabela 6. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biodiesla z rzepaku w zależności od poprawy agrotechniki z uwzględnieniem szacunku N₂O metodą DNDC

Table 6. Reducing greenhouse gas emissions in the life cycle of biodiesel from rape depending on the improvement of agricultural technology, with regard to N₂O emissions estimated by the DNDC methodology

Województwo/ Province	Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych/ Reducing greenhouse gas emissions [%]			
	1.*	2.	3.	4.
Dolnośląskie	48	90	89	237
Kujawsko-pomorskie	47	91	91	225
Lubelskie	47	94	93	272
Lubuskie	43	80	81	204
Łódzkie	49	94	96	242
Małopolskie	48	102	104	290
Mazowieckie	49	93	94	264
Opolskie	50	96	97	244
Podkarpackie	50	98	101	289
Podlaskie	47	96	99	294
Pomorskie	48	95	96	266
Śląskie	51	101	101	270
Świętokrzyskie	49	96	98	258
Warmińsko-mazurskie	49	95	95	286
Wielkopolskie	50	87	86	225
Zachodniopomorskie	48	91	93	236

* oznaczenia 1-4 jak w tab. 1/designation 1-4 see tab. 1

Źródło: opracowanie własne
Source: own study

zachodniopomorskie. Pozostawienie na polu resztek poźniwnych lub wprowadzenie uprawy uproszczonej zapewnia spełnienie normy ograniczenia 50-procentowej w produkcji bioetanolu (tab. 5, wariant 2. i 3.).

Wyprodukowanie biodiesla zapewniającego ograniczenie emisji GHG $\geq 50\%$ jest możliwe z rzepaku pochodzącego z uprawy płuźnej ze zbiorem słomy tylko w 4 województwach (tab. 6, wariant 1.). Celem bezpiecznego spełnienia normy w produkcji biodiesla rzepak powinien pochodzić z uprawy płuźnej z przyoraniem słomy lub z uprawy uproszczonej (tab. 6, wariant 2. i 3.).

Podsumowanie

Uwzględnienie w analizach cyklu życia biopaliw szacunków N₂O wysymulowanych modelem DNDC może zmniejszyć wielkość emisji o 3-15% i zapewnić we wszystkich województwach osiągnięcie ograniczenia GHG $\geq 50\%$ w produkcji bioetanolu z pszenicy ozimej pochodzącej z uprawy płuźnej ze zbiorem resztek poźniwnych. Uzyskanie ograniczenia emisji GHG $\geq 50\%$ w przypadku produkcji bioetanolu z kukurydzy oraz biodiesla z rzepaku wymagałoby pozyskania surowców z uprawy płuźnej z przyoraniem całej słomy. Zastosowanie w szacunkach wyników

symulacji emisji DNDC pozwalało uzyskiwać w uprawie ograniczonej surowce ze wszystkich województw, zwiększając jednocześnie ograniczenia emisji o 20-47%, a w siewie bezpośrednim o 123-182% w stosunku do metody IPCC. Zastosowanie w praktyce rolniczej uprawy płuźnej lub uprawy ograniczonej będzie mniej kosztowne niż siewu bezpośredniego. Reasumując należy stwierdzić, że emisje podtlenku azotu symulowane przez model DNDC gwarantują zmniejszenie całkowitych emisji GHG i uzyskanie większych ograniczeń emisji w cyklu życia biopaliw.

Literatura

- Biograce. Harmonised Calculations of Biofuel Greenhouse Gass Emissions in Europe*. 2011: [online], <http://www.biograce.net>.
- Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation, Technical Guidance Part Two Carbon Reporting – Default Values and Fuel Chains*. 2009: RFA London, United Kingdom.
- Decyzja Komisji z dnia 10 czerwca 2010 r. w sprawie wytycznych dotyczących obliczania zasobów węgla w ziemi do celów załącznika V do dyrektywy 2009/28/WE (notyfikowana jako dokument nr C(2010) 3751) (2010/335/UE)*, Dz.U. UE L 2010.151.19.
- Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych*, Dz.U. UE L 09.140.16.
- Faber A., Jarosz Z., Nieróbca A., Smagacz J. 2013: *Sekwestracja węgla organicznego w glebach Polski jako sposób na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu i biodiesla (LCA)*, Projekt N N313 759240 finansowany przez Narodowe Centrum Nauki, Raport, 165.
- Jarosz Z., Faber A. 2015a: *Możliwości ograniczenia emisji rolniczych z uprawy pszenicy przeznaczonej na cele paliwowe*, Problemy Inżynierii Rolniczej.
- Jarosz Z., Faber A. 2015b: *Możliwości spełnienia wymogów UE w zakresie zrównoważonej produkcji biopaliw*, SERiA, tom XVII, z. 1, 85-90.
- Leip A., Marchi G., Koeble R., Kempen M., Britz W., Li C. 2007: *Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen losses from cropland soil in Europe*, Biogeoscience Discuss., 4, 2215-2278.
- Leip A., Marchi G., Koeble R., Kempen M., Britz W., Li C. 2008: *Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe*, Biogeosciences, 5, 73-94.
- The DNDC Model*, [online], <http://www.dndc.sr.unh.edu>, dostęp 26.03.2015.
- Vries De W., Leip A., Reinds G.J., Kros J., Lesschen J.P., Bouwman A.F. 2011: *Comparison of land nitrogen budgets for European agriculture by various modeling approaches*. Environ. Pollut., 159(11), 3254-68.

Summary

The aim of the study was to determine the possibility of reducing greenhouse gas emissions in the life cycle of biofuels as a result of the use DNDC model for estimating nitrous oxide. The studies showed that the replacement field N₂O emission estimates by the IPCC methodology with more accurate estimates of the emissions derived from the model DNDC, increases emission reductions by 3-15%. It is a costless way to obtain greater reductions of GHG emissions in the life cycle (LCA) of bioethanol produced from wheat and corn and biodiesel produced from oilseed rape.

Adres do korespondencji
dr Zuzanna Jarosz, prof. dr hab. Antoni Faber
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 886 34 21, w. 210
e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl