

Antoni Faber, Zuzanna Jarosz

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

OPTIMALIZACJA I ANALIZA RYZYKA EMISJI ROLNICZYCH GAZÓW CIEPLARNIANYCH W UPRAWIE KUKURYDZY NA CELE PALIWOWE*

Słowa kluczowe: emisje rolnicze GHG, optymalizacja, analiza ryzyka, analiza niepewności

Wstęp

Polska, funkcjonując w strukturach Unii Europejskiej, zobowiązana jest do produkcji energii ze źródeł odnawialnych (OZE). Zapewnienie niezbędnego udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym dotyczy również biopaliw transportowych, które są dodatkiem do paliw konwencjonalnych. W tym celu rząd Polski wyznaczył Narodowy Cel Wskaźnikowy (NCW) określający minimalny udział biopaliw i biokomponentów, wyrażony w procentach energetycznych, w ogólnej ilości paliw. Przyjęty przez Radę Ministrów 23 lipca 2013 r. nowy NCW zakłada udział biopaliw w paliwach transportowych na poziomie 8,5% w 2018 r. (10).

Wykorzystanie biopaliw z każdym rokiem wzrasta. Zwiększenie ich udziału w transporcie stwarza możliwości rozwoju wielu sektorów gospodarki. Produkcja biopaliw przyczynia się do dywersyfikacji źródeł energii, pośrednio oznacza stabilizację dochodów w rolnictwie i aktywizację obszarów wiejskich. Dla rolnika to nowe rynki zbytu surowców. Instalacje do produkcji biokomponentów lokalizowane najczęściej przy mniejszych aglomeracjach stanowią istotne ogniwo w lokalnej strukturze zatrudnienia. Większe wykorzystanie całego łańcucha produkcyjnego biopaliw w realizacji Narodowego Celu Wskaźnikowego daje może niewielkie, ale faktyczne uniezależnienie od importu energii.

Kukurydza i pszenica ozima są głównymi surowcami do produkcji bioetanolu w Polsce (5). Zakłady produkujące z tych surowców bioetanol na cele paliwowe mają obowiązek, z mocy obowiązującej dyrektywy 2009/28/WE (RED), wykazania od 2017 r., że emisja gazów cieplarnianych (GHG) w cyklu życia tego biopaliwa uległa ograniczeniu o 50% w stosunku do benzyny (3). Zgodnie z wytycznymi Unii

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Europejskiej tylko biopaliwa spełniające kryteria zrównoważonego rozwoju mogą być wliczone do NCW. Po 2020 r. w szacunkach emisji GHG w cyklu życia biopaliw koniecznym może okazać się uwzględnianie także emisji gazów cieplarnianych związanej z pośrednimi zmianami w użytkowaniu gruntów (*Indirect Land Use Change* – ILUC), której wielkość dla zbóż i upraw o wysokiej zawartości skrobi ustalono obecnie na $12 \text{ g CO}_2 \text{ eq} \cdot \text{MJ}^{-1}$ (9). ILUC jest dodatkową emisją, która może w istotny sposób wpłynąć na ograniczenie emisji, a tym samym na produkcję biopaliw zgodnie z wymogami dyrektywy 2009/28/WE. Konsekwencją tych wymogów jest poszukiwanie możliwych ograniczeń emisji na każdym etapie cyklu życia bioetanolu produkowanego z kukurydzy, w tym także emisji rolniczych GHG.

Znaczący wzrost ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu produkowanego z kukurydzy możliwy jest do osiągnięcia głównie poprzez poprawę agrotechniki w kierunku zwiększenia sekwestracji węgla organicznego w glebach (6, 8). Mniejsze ograniczenia emisji związane są z nawożeniem roślin, zwłaszcza azotem (N). Emisje GHG powstające podczas przemysłowej produkcji nawozów azotowych oraz ich stosowania mają największy udział w emisji ogółem, wynoszący średnio odpowiednio: 17,8 i 18,6% (8). Ograniczenie emisji o $2,4\text{--}2,8 \text{ g CO}_2 \text{ eq} \cdot \text{MJ}^{-1}$, w zależności od dawki i asortymentu nawozu, możliwe jest przez nawożenie kukurydzy asortymentami nawozów obciążonymi mniejszymi emisjami gazów cieplarnianych podczas produkcji (7, 8). Innym możliwym rozwiązaniem jest optymalizacja dawek N stosowanych w uprawie. Wstępne próby optymalizacji według funkcji produkcji (plon ziarna = $f(\text{dawka N})$) wykazały, że optymalne ze względu na wielkość plonu dawki nawożenia azotem powinny zawierać się w przypadku kukurydzy w przedziale $120\text{--}140 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (7, 8). Wyznaczenie zakresu tych dawek nie dało jeszcze wystarczająco pełnych przesłanek do zalecania ich w praktyce rolniczej. Koniecznym do tego warunkiem było przeprowadzenie pełniejszych analiz: optymalizacji, ryzyka i niepewności. Dodatkową metodą może być optymalizacja emisji rolniczych gazów cieplarnianych w zależności od plonu i dawki N [Emisja GHG = $f(\text{plon ziarna}, \text{dawka N})$].

Podczas produkcji biopaliw oprócz produktu głównego powstają również produkty uboczne oraz odpady. Zgodnie z metodyką podaną w dyrektywie RED emisję gazów cieplarnianych powstałą podczas produkcji alokuje się do produktu głównego oraz produktów ubocznych. Produktem ubocznym powstającym w procesie produkcji bioetanolu powstającego po przemiale surowca jest DDGS (*Dried Distillers Grains with Solubles*). Susz zbożowy (DDGS) stanowi alternatywne źródło pełnowartościowego białka, włókna oraz energii w żywieniu zwierząt. Wykorzystanie odpadów poprodukcyjnych czy produktów ubocznych powstających w procesie produkcji biopaliw pozwala nie tylko na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, ale także może poprawić ekonomiczność produkcji.

Celem opracowania jest ocena możliwości optymalizacji emisji rolniczych gazów cieplarnianych z alokacją emisji do produktów ubocznych DDGS powstających przy uprawie kukurydzy na cele paliwowe.

Material i metodyka

Podstawą analiz były informacje pochodzące z badań ankietowych dotyczących technologii produkcji kukurydzy w 275 gospodarstwach produkujących kukurydzę na ziarno. Badana populacja stanowi ok. 3% ogółu gospodarstw produkujących tę roślinę na cele paliwowe. Dane te obejmujące: poziom plonów ziarna ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), wilgotność (%), dawki N, P_2O_5 , K_2O , CaO i pestycydów ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) oraz ilości zużytego oleju napędowego ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) wykorzystywane były także w analizach ograniczenia emisji rolniczych poprzez stosowanie optymalnych dawek nawożenia azotem oraz asortymentów nawozów obciążonych mniejszą emisją przy ich produkcji (7, 8). Średnie charakterystyki technologii produkcji kukurydzy w badanych gospodarstwach przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Średnie charakterystyki technologii produkcji kukurydzy w badanych gospodarstwach

Parametr	Jednostka	Polska
Plon	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	6680
Wilgotność	%	-
Zużycie oleju napędowego	$\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	3149
Dawka N	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	124
Dawka obornika	$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	-
Dawka P_2O_5	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	63
Dawka K_2O	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	86
Dawka CaO	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	122
Dawka pestycydów	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	0,91
Norma wysiewu	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	30
Polowa emisja N_2O	$\text{kg N}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$	2,80

Emisje rolnicze GHG szacowano przy użyciu kalkulatora BIOGRACE jako emisje po alokacji DDGS (1, 2). Szczególną uwagę zwrócono na funkcję spełnienia celu optymalizacji, którym było zmniejszenie emisji rolniczych GHG. Zbiór danych charakteryzujących technologie produkcji kukurydzy na cele paliwowe poddano optymalizacji oraz analizom ryzyka i niepewności z uwzględnieniem emisji GHG po alokacji do produktu ubocznego, plonów ziarna oraz dawek N. W końcu dla zbioru danych wyjściowych oraz zoptymalizowanych oszacowano niepewności emisji gazów cieplarnianych.

W optymalizacjach emisji rolniczych gazów cieplarnianych wykorzystano procedury zawarte w pakiecie statystycznym Statgraphics (Design Optimization Procedures). Zbiór danych wyjściowych ($n = 275$) oraz zoptymalizowanych ($n = 21$) spełniający cel emisyjny $18 \text{ g CO}_2\cdot\text{eq}\cdot\text{MJ}^{-1}$ poddano analizie ryzyka. Wykonano ją dla najlepiej dopasowanych rozkładów statystycznych oszacowanych z wykorzy-

staniem metody @Risk z pakietu statystycznego Palisade Decision Tools. Oszacowane, najlepiej dopasowane rozkłady traktowano jako wyjściowe i wykorzystano je do modelowania rozkładów losowych przy użyciu metody Monte Carlo dla 10000 iteracji. Niepewności badanych zmiennych, w obu badanych zbiorach danych, szacowano z rozkładów t-Studenta dla 95% przedziału ufności.

W pracy przedstawiono wyniki dotyczące spełnienia celu optymalizacji, analizy ryzyka dla badanych zmiennych oraz szacunki niepewności emisji rolniczych GHG, dla których spełniony był wybrany cel optymalizacji. Przeprowadzone badania wykraczają poza zakres wymagań metodycznych określonych w dyrektywie 2009/28/WE dla szacowania emisji rolniczych GHG. Nowelizacja tej dyrektywy zapowiada obowiązek uwzględniania ILUC w szacunkach emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw. Skłania to do poszukiwania i wykorzystywania wszelkich możliwych sposobów zmniejszania emisji gazów cieplarnianych, w każdym ogniwie cyklu życia biopaliw.

Wyniki i dyskusja

Wcześniejsze badania dotyczące wpływu optymalnych dawek N, wyliczonych z krzywych produkcji $\text{Plon ziarna} = f(\text{dawka N})$ dla różnych asortymentów nawozów N oraz sekwestracji węgla organicznego w glebach, na wielkość emisji rolniczych GHG oraz ograniczenia emisji w cyklu życia bioetanolu wykazały, że optymalne dawki nawożenia azotem w produkcji kukurydzy na cele paliwowe powinny zawierać się w przedziale 120–140 kg N·ha⁻¹. Zastosowanie nawozów o niższych emisjach gazów cieplarnianych, powstających w trakcie ich produkcji, w oszacowanych dawkach optymalnych pozwalało zmniejszyć emisje rolnicze odpowiednio o 2,4 i 2,8 g CO₂·eq·MJ⁻¹. Natomiast oszacowane całkowite ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w pełnym cyklu życia bioetanolu produkowanego z ziarna kukurydzy mieściły się w zakresie 49–69%, w zależności od zastosowanego asortymentu nawożenia mineralnego i technologii produkcji (8). Uzyskane ograniczenia emisji GHG spełniałyby wymogi dyrektywy 2009/28/WE obowiązujące od 2017 r., gdyby nie zaistniała ewentualna konieczność uwzględniania pośredniej zmiany użytkowania gruntów. Jak już wspomniano, jeśli podane dawki nawożenia azotem miałyby być stosowane w praktyce, wymagają pogłębienia analiz optymalizacyjnych, z uwzględnieniem analizy ryzyka i niepewności.

Wykonane analizy optymalizacji wykazały, że osiągnięcie wymaganej przez dyrektywę 2009/28/WE standardowej emisji rolniczej GHG wynoszącej 20 g CO₂·eq·MJ⁻¹ jest możliwe dla plonów ziarna na poziomie 6831 kg·ha⁻¹ i dawki N wynoszącej 132 kg·ha⁻¹ (tab. 2). Mniejsze od standardowej emisje rolnicze gazów cieplarnianych uzyskano dla wyższych plonów ziarna i mniejszych dawek nawożenia azotem. Emisję rolniczą wynoszącą 14 g CO₂·eq·MJ⁻¹ oszacowano dla plonu ziarna 8105 kg·ha⁻¹ i dawki N – 98 kg·ha⁻¹ (tab. 2).

Tabela 2

Optymalne wielkości emisji rolniczych GHG dla plonów i dawek N

Rolnicza emisja GHG (z alokacją DDGS) (g CO ₂ ·eq·MJ ⁻¹)	Plon ziarna (kg·ha ⁻¹)	Dawka N (kg·ha ⁻¹)
20	6831	132
18	7225	123
16	7674	112
14	8105	98

Źródło: opracowanie własne

Podane w tabeli 2 dane wyszacowano z zależności pomiędzy emisjami rolniczymi gazów cieplarnianych a badanymi zmiennymi niezależnymi z równania regresji:

$$E = 35,4 - 0,00673 PL + 0,154 N + 3,63E-7 PL^2 - 7,48E-6 PL*N; R^2 = 90,2 \quad [1]$$

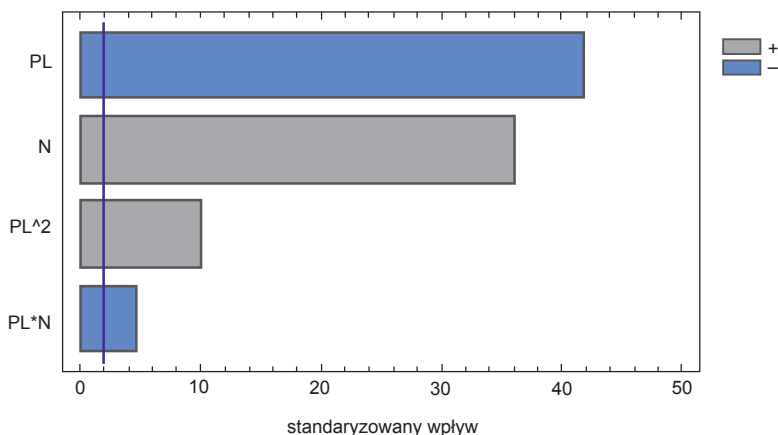
gdzie:

E – emisja GHG (z alokacją DDGS) (g CO₂·eq·MJ⁻¹),

PL – plon ziarna (kg·ha⁻¹),

N – dawka N (kg·ha⁻¹).

Równanie to było statystycznie istotne ($P \leq 0,05$), zaś uwzględnione zmienne objaśniające nie były skorelowane ($r < 0,5$), a ich efekty były istotne na poziomie $P \leq 0,05$. Poszczególne zmienne niezależne zmniejszały (-) lub zwiększały emisje (+) (rys. 1).

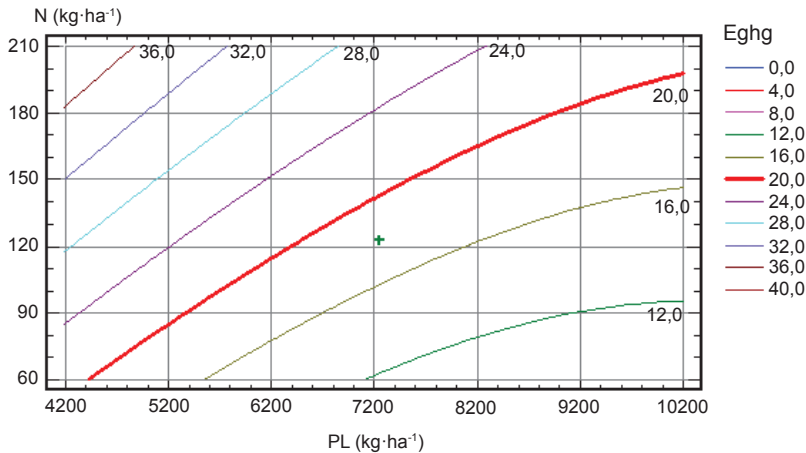


Rys. 1. Wpływ na emisję gazów cieplarnianych badanych zmiennych niezależnych wyrażony standaryzowaną siłą wpływu zmiennych niezależnych na emisje GHG według diagramu Pareto (równanie [1])

Źródło: opracowanie własne

Zakres oszacowanych optymalnych dawek N (tab. 2) był szerszy od tego, jaki oszacowany został we wcześniejszych badaniach (120–140 kg N·ha⁻¹) (8). Płaszczy-

znych reakcji emisji gazów cieplarnianych na badane zmienne niezależne przedstawia rysunek 2.

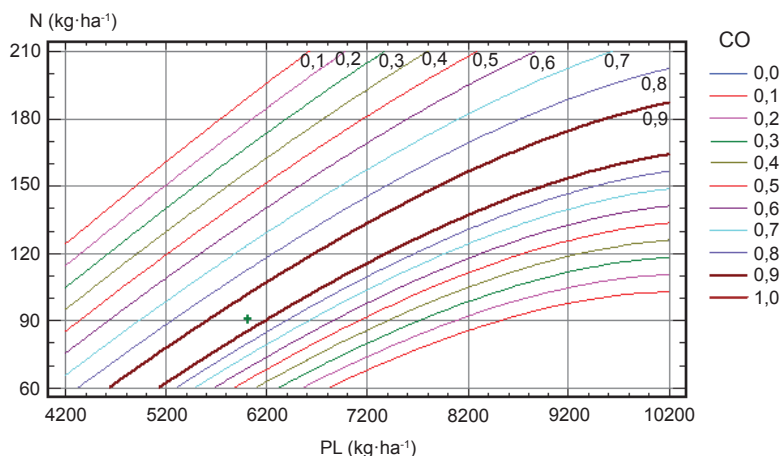


Rys. 2. Kontury oszacowanych emisji GHG (Eghg, g CO₂ eq·MJ⁻¹) w zależności od wielkości plonów ziarna (PL) i dawek azotu (N)

Źródło: opracowanie własne

Obecnie kukurydza uprawiana w Polsce charakteryzuje się średnią emisją rolniczą 19,5 g CO₂·eq·MJ⁻¹ (4). Bliskość tej emisji do wartości emisji standardowej według dyrektywy 2009/28/WE (20 g CO₂·eq·MJ⁻¹) uzasadnia poszukiwania możliwości jej ograniczenia. Przedstawione w tabeli 2 oraz na rysunkach 1 i 2 wyniki optymalizacji emisji sugerowałyby, że dalsze ograniczenie emisji do 2 g CO₂·eq·MJ⁻¹ może być teoretycznie możliwe przy plonie 7225 kg·ha⁻¹ i dawce N 123 kg·ha⁻¹. Spełnienie celów 14 i 16 g CO₂·eq·MJ⁻¹, wymagających dużego wzrostu plonów i dość dużego ograniczenia dawek N, jest w obecnej praktyce rolniczej raczej niewykonalne. Dlatego w dalszej analizie oceniano jedynie możliwość osiągnięcia celu emisyjnego 18 g CO₂·eq·MJ⁻¹, do czego niezbędne byłoby osiągnięcie zwiększenia plonu o 5,8% w stosunku do mediany (7197 kg·ha⁻¹) przy niezmnieszonej dawce N w stosunku do wyjściowego zbioru danych (ok. 132 kg N·ha⁻¹). Zakresy plonów i dawek dla tego celu emisyjnego można odczytać z rysunku 2. Możliwości spełnienia tego celu optymalizacyjnego emisji przedstawiono na rysunku 3.

Wartości spełnienia celu optymalizacji (CO) bliskie 1 oznaczają, że CO na poziomie 18 g CO₂·eq·MJ⁻¹ był spełniony, co stwierdzono dla 21 gospodarstw (7,6% ogółu danych). Interesujące jednak było, czy wyniki analizy ryzyka dla emisji, plonów oraz dawek N w całym zbiorze danych oraz w zbiorze zoptymalizowanym będą się wyraźnie różnić (tab. 3).



Rys. 3. Spełnienie celu optymalizacji (CO) 18 g CO₂ eq·MJ⁻¹ (zielony punkt wyznacza optymalne wartości plonu (PL) i dawki azotu (N))

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3

Analiza ryzyka dla emisji GHG, plonów ziarna oraz dawek azotu według symulacji Monte Carlo (10000 iteracji)

Statystyki	Emisja GHG (g CO ₂ ·eq·MJ ⁻¹)		Plon ziarna (kg·ha ⁻¹)		Dawka azotu (kg·ha ⁻¹)	
	CZ*	ZO	CZ	ZO	CZ	ZO
Średnia	19,5	18,5	7197	7867	130	138
Mediana	18,9	18,1	7197	7636	132	133
Percentyle:						
5%	12,5	17,7	4579	6035	73	97
50%	18,9	18,1	7197	7636	132	133
95%	29,5	18,5	9812	10482	181	197

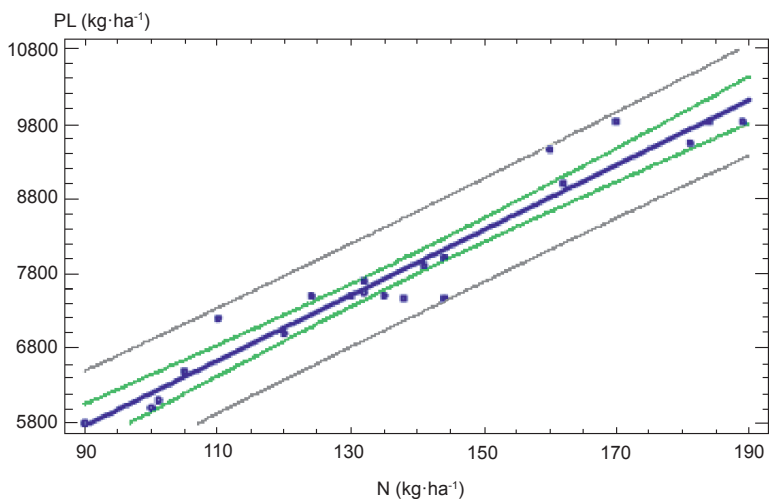
* CZ – cały zbiór (n = 275); ZO – zbiór zoptymalizowany (n = 21)

Źródło: opracowanie własne

Jak wykazały symulacje Monte Carlo, możliwa teoretycznie oszczędność emisji w zbiorze danych zoptymalizowanym wynosi zaledwie 0,8 g CO₂·eq·MJ⁻¹, biorąc pod uwagę mediany (18,9–18,1 g CO₂·eq·MJ⁻¹). Wartość taka mogłaby być osiągnięta poprzez zwiększenie mediany plonów o 439 kg·ha⁻¹. Wzrost ten musiałby wynosić 32% dla 5 percentyla plonów i zmniejszałby się w kierunku mediany, osiągając wartość 6,1% dla 50 percentyla plonów. Konieczna dla zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych byłaby dalsza maksymalizacja plonów (w kierunku wartości plonów dla 95 percentyla). Możliwości regulowania wielkości dawek N nie potwierdziły się, ponieważ statystyki dla dawek w obu populacjach danych okazały się zbliżone.

Stwierdzona oszczędność w emisji gazów cieplarnianych wskutek optymalizacji plonów i dawek była 3-krotnie mniejsza niż emisje możliwe do osiągnięcia poprzez właściwy dobór asortymentów nawozów o niższych emisjach GHG powstających w trakcie ich produkcji (8). Na podstawie wcześniej i obecnie uzyskanych wyników można domniemywać, że addytywny efekt doboru nisko emisyjnych nawozów N oraz umiarkowane zwiększenie plonów może zapewnić zmniejszenie emisji rolniczych GHG o rząd wielkości $3,6 \text{ g CO}_2 \cdot \text{eq} \cdot \text{MJ}^{-1}$.

Zwiększenie plonów kukurydzy o 6,1% w stosunku do mediany w celu zmniejszenia emisji rolniczej GHG o $0,8 \text{ g CO}_2 \cdot \text{eq} \cdot \text{MJ}^{-1}$ wydaje się być w praktyce wykonalne w perspektywie 2017 r., gdyż wymagałoby to rocznego tempa wzrostu plonów 1,5%, które jest obecnie notowane w krajowych statystykach plonów. Większe ograniczenie emisji rolniczych GHG można by jedynie osiągnąć poprzez kontrolowany zakup do produkcji bioetanolu surowca z gospodarstw o większych plonach. Porównanie wyjściowego zbioru danych oraz zbioru danych po optymalizacji proadzi bowiem do wniosku, że kupowany surowiec powinien spełniać co najmniej następujące warunki: plon $6035\text{--}10\,482 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Mediana = $7636 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz dawki azotu $97\text{--}197 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Mediana = $133 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). Spełnienie tych warunków wymagać może pełniejszej znajomości krzywej reakcji plonów na nawożenie N (rys. 4).



Rys. 4. Zależność pomiędzy plonem (PL) a dawką azotu (N) w zbiorze danych po optymalizacji

$$(PL = 1845,38 + 43,56 N; R^2 = 73,3\%)$$

Źródło: opracowanie własne

W ocenie celowości zwiększania plonów lub wprowadzania bardziej restrykcyjnych zasad zakupu surowca do produkcji bioetanolu istotna jest nie tylko wielkość zaoszczędzonej emisji gazów cieplarnianych, ale również zmniejszenie niepewności

emisji GHG. Oszacowane zostały więc niepewności dla obu porównywanych zbiorów danych (tab. 4).

Tabela 4

Niepewności emisji rolniczych GHG ($\text{g CO}_2 \text{ eq} \cdot \text{MJ}^{-1}$) w całym zbiorze danych oraz w zbiorze danych po optymalizacji

Statystyki	CZ	ZO
Średnia	19,5	18,1
Odchylenie standardowe	4,87	0,286
Liczba danych	275	21
Wartość testu t-Studenta (95% PU)	1,96	2,09
Niepewność (95% PU)	0,575	0,130
Niepewność (%)	3	0,7

CZ – cały zbiór ($n = 275$), ZO – zbiór zoptymalizowany ($n = 21$) PU – przedział ufności

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Optymalizacja emisji rolniczej GHG (z uwzględnieniem alokacji wywaru DDGS) w uprawie kukurydzy na cele paliwowe poprzez oddziaływania na wielkość plonów i dawek N może przynieść zmniejszenie emisji rolniczych zaledwie o $0,8 \text{ g CO}_2 \cdot \text{eq} \cdot \text{MJ}^{-1}$. Analiza ryzyka wykazała, że można to osiągnąć jedynie poprzez wzrost plonów o 6,1% w stosunku do mediany danych wyjściowych ($7197 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Nie stwierdzono możliwości wpływania na emisję poprzez zmniejszenie dawek N. Wybór do produkcji bioetanolu surowca o większych plonach mieszczących się w zakresie $6035\text{--}10\,482 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ poprzez kontrolowany zakup ziarna mógłby zwiększyć podane ograniczenie emisji oraz zmniejszyć niepewność szacunków emisji GHG do 0,7%, w stosunku do 3% w wyjściowym zbiorze danych.

Literatura

1. BIOGRACE: Harmonised Calculation of Biofuel Greenhouse Gas Emissions in Europe. 2011, (<http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/excelghgcalculations>)
2. Decyzja Komisji z dnia 30 maja 2013 r. w sprawie zatwierdzenia systemu „narzędzie do obliczania emisji gazów cieplarnianych Biograce” w odniesieniu do wykazania zgodności z kryteriami zrównoważonego rozwoju zgodnie z dyrektywami Parlamentu Europejskiego i Rady 98/78/WE oraz 2009/28/WE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. L147/46, http://www.esqula.pl/include/user_file/dz.ue.l.2013.147.46.pdf; 08. 07. 2014.
3. 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. L140/16, 5.6.2009, PL, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:pl:PDF>; 08. 07. 2014.

4. Faber A., Jarosz Z., Borek R., Borzęcka-Walker M., Syp A., Pudełko R.: Poziom emisji gazów cieplarnianych (CO₂, N₂O i CH₄) dla upraw pszenicy, pszenżyta, kukurydzy i żyta przeznaczonych do produkcji bioetanolu oraz upraw rzepaku przeznaczonych do produkcji biodiesla. Ekspertyza wykonana na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, 2011, ss. 91.
5. Izdebski W., Skudlarski J., Zając S.: Wykorzystanie surowców pochodzenia rolniczego do produkcji biopaliw transportowych w Polsce. Roczn. Nauk. SERiA, 2014, **(16)2**: 93-97.
6. Jarosz Z., Faber A.: Możliwości ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2014, **39(13)**: 9-27.
7. Jarosz Z., Faber A.: Ograniczenie emisji rolniczych poprzez stosowanie optymalnych dawek nawożenia azotem. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2014, **39(13)**: 29-42.
8. Krasuska E., Faber A., Pudełko R., Jarosz Z., Borzęcka-Walker M., Kozyra J., Syp A.: Emission saving opportunities for corn cultivation for ethanol in Poland. J. Food Agr. Environ., 2013, **11(3&4)**: 2050-2053.
9. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources. COM(2012) 595 final, 2012/0288 (COD), Brussels, 17.10.2012 (http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/fuel/docs/com_2012_595_en.pdf).
10. Urząd Regulacji Energetyki. 2013: <http://www.ure.gov.pl>

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Antoni Faber
Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki
IUNG-PIB
24-100 Puławy
ul. Czartoryskich 8
tel. 81 47 86 767
e-mail: faber@iung.pulawy.pl