

Wpłynęło 21.04.2015 r.
Zrecenzowano 22.12.2015 r.
Zaakceptowano 04.01.2016 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Szacunek emisji gazów cieplarnianych z uprawy kukurydzy na kiszonkę metodą LCA

Marek HRYNIEWICZ^{ABCDEF}, Anna GRZYBEK^{ABCDEF}

*Institut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Oddział w Warszawie,
Zakład Analiz Ekonomicznych i Energetycznych*

Do cytowania For citation: Hryniewicz M., Grzybek A. 2016. Szacunek emisji gazów cieplarnianych z uprawy kukurydzy na kiszonkę metodą LCA. Problemy Inżynierii Rolniczej. Z. 1 (91) s. 63–73.

Streszczenie

W pracy oszacowano emisje gazów cieplarnianych w wybranej technologii uprawy kukurydzy na kiszonkę za pomocą metody LCA (ang. Life Cycle Assessment). Emisja skumulowana wyniosła 3,38 (t CO₂eq)·ha⁻¹. Ilość emisji odniesiona do plonu otrzymanego z hektara wyniosła 56,35 (kg CO₂eq)·ha⁻¹. W strukturze emisji największy udział miały emisje z operacji związanych z produkcją i przechowywaniem nawozów naturalnych – 37,68% (obornik – hodowla 6,99%, obornik – przechowywanie 14,28%, obornik – przechowywanie N₂O 5,11%, gnojowica – hodowla 1,87%, gnojowica – przechowywanie 7,40%, gnojowica – przechowywanie N₂O 2,03%), następnie emisje z gleby w grupie operacji związanych z uprawą – 30,32% (dla N całkowitego: z saletry amonowej – 4,67%, NPK – 0,97%, Polifoski – 0,71%, mocznika – 7,58%, gnojowicy 4,67%, obornika – 11,72%), emisje związane z paliwem do produkcji i uprawy kukurydzy na kiszonkę – 17,69% oraz emisje grupy operacji związanych z produkcją nawozów mineralnych – 14,24% (Polifoska – 0,46%, mocznik – 7,51%, NPK wieloskładnikowy – 0,69%, saletra amonowa – 4,44%, sól potasowa 1,14%).

Słowa kluczowe: analiza cyklu życia, metoda LCA, kukurydza na kiszonkę, uprawa, emisje

Wstęp

Analiza cyklu życia (LCA) była stosowana do obliczenia emisji gazów cieplarnianych w uprawie rzepaku przeznaczonego na biopaliwo [BORZĘCKA-WALKER i in. 2013], pszenicy na bioetanol [SYP i in. 2012] oraz miskanta [BORZĘCKA-WALKER i in. 2012]. Metodę analizy LCA zastosowali GRANT i BEER [2006] do oceny nawadnianych upraw kukurydzy w Australii, zaś BACENETTI z zespołem [2014] do oceny i porównania dwóch różnych systemów uprawy surowców do produkcji biometanu w północnych Włoszech. W Polsce, kukurydza uprawiana na kiszonkę lub zielonkę stosowana jest jako pasza dla bydła [ROMANIUK, MAJCHRZAK 2013; WIELOGÓRSKA i in. 2008], lub

surowiec do biogazowni [GORZELNIANY i in. 2011]. W związku z programami ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie wskazane jest dokonanie oszacowania emisji gazów w uprawie kukurydzy metodą LCA w warunkach Polski. Badania takie mogą służyć szukaniu nowych metod uprawy, która zminimalizuje wpływ na środowisko [KACPRZAK i in. 2012] oraz wytyczania kierunków badań w inżynierii rolniczej [KAMIŃSKI 2011; SZEPTYCKI 2011] i wskazania trendów rozwojowych. Różnice w stosowanych technologiach uprawy tej samej rośliny powodują, że możliwe są różne emisje końcowe gazów cieplarnianych, przede wszystkim ze względu na różne dawki nawozów i pestycydów oraz ilość oleju napędowego, którego zużycie jest uzależnione od typu maszyn stosowanych podczas uprawy. Celem pracy jest oszacowanie emisji gazów cieplarnianych metodą analizy LCA z uprawy kukurydzy na kiszonkę, zgodnie z wytycznymi normy ISO 14040:2009 oraz ISO 14044:2009 dla rzeczywistej technologii.

Metodyka pracy

Zgodnie z normą ISO 14040:2009 metoda analizy LCA wymaga zdefiniowania zakresu, określenia i zdefiniowania funkcji systemu oraz jego granic wraz z dokładnym opisem przyjętych założeń. Zakres badań ograniczono do procesu produkcji od momentu przygotowania pola do uprawy aż do zbioru kukurydzy na kiszonkę. Funkcją systemu jest produkcja kukurydzy na kiszonkę. Jednostką funkcjonalną jest ilość emisji przypadająca na wyprodukowanie 1 t kiszonki z ha. Granicami systemu jest przygotowanie pola pod uprawę i okrywanie przyzmy kiszonki. Wszystkie wartości odniesiono do pola o powierzchni 1 ha. Proces technologiczny został opisany w szczegółowej karcie technologicznej [HRYNIEWICZ i in. 2014]. Poszczególne rodzaje emisji powstałe w trakcie uprawy obliczono według wzoru:

$$E(z, g) = I(z) \cdot W(z, g) \quad (1)$$

gdzie:

$E(z, g)$ – emisje gazu g ze źródła emisji z [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$];

z – źródło emisji, $z \in \{\text{produkcja nawozów naturalnych, system zarządzania nawozami naturalnymi, produkcja nawozów sztucznych, paliwo, uprawa}\}$;

g – rodzaj gazu, $g \in \{\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O}\}$;

$I(z)$ – ilość materiału źródła z , z którego powstają emisje [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, $\text{l} \cdot \text{ha}^{-1}$];

$W(z, g)$ – wskaźnik emisji dla źródła z i gazu g [$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{kg} \cdot \text{l}^{-1}$].

Emisje z poszczególnych źródeł przeliczono na ekwiwalent emisji CO_2 , według wzoru:

$$\text{CO}_2_eq(z) = E(g, z) \cdot R(g) \quad (2)$$

gdzie:

$\text{CO}_2_eq(z)$ – ekwiwalent emisji CO_2 ze źródła z [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$];

$E(z, g)$ – emisje gazu g ze źródła emisji z [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$];

$R(g)$ – wskaźnik równoważnikowy służący do przeliczeń emisji poszczególnych gazów g na ekwiwalent emisji CO_2 podawany przez IPCC [2007a] [wielkość bezwymiarowa].

Emisja z cyklu życia będzie sumą emisji z poszczególnych źródeł, obliczoną według wzoru:

$$CO_2_eq = \sum_z CO_2_eq(z) \quad (3)$$

gdzie:

CO_2_eq – suma emisji z cyklu życia [$kg \cdot ha^{-1}$].

Materiały zużyte w uprawie kukurydzy na kiszonkę (obornik od krów mlecznych, gnojowica od krów mlecznych, Polifoska, mocznik, NPK, saletra amonowa i sól potasowa) wraz z ich ilościami na 1 ha, procentową zawartością w nich NPK oraz dawką NPK przypadającą na 1 ha zestawiono w tabeli 1. Każdy z zastosowanych materiałów jest źródłem emisji.

Tabela 1. Materiały stosowane w uprawie kukurydzy na kiszonkę
Table 1. Materials used in the cultivation of maize for silage

Nawozy naturalne i mineralne Natural and mineral fertilizers	Dawka Dose	Zawartość NPK w nawozie NPK content in fertilizer [%]			Dawka NPK NPK content [$kg \cdot ha^{-1}$]		
	[$t \cdot ha^{-1}$]	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Obornik od krów mlecznych Manure from milk cows	21	0,55	0,32	0,54	116	67	113
Gnojowica od krów mlecznych Slurry from milk cows	11	0,42	0,17	0,46	46	19	51
Polifoska 6 [6:20:30:(7)] Polifoska 6 [6:20:30:(7)]	0,1	6	20	30	6	20	30
Mocznik 46% Urea 46%	0,15	46	0	0	69	0	0
NPK 9-25-25	0,1	9	25	25	9	25	25
Saletra amonowa [27:0:0] Ammonium sulphate [27:0:0]	0,13	33	0	0	43	0	0
Sól potasowa (Korn Kali) Potassium salt (Korn Kali)	0,4	0	0	40	0	0	160
Razem Total					289	131	379

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Plonem jest $60 t \cdot ha^{-1}$ kukurydzy na kiszonkę. Ilość oleju napędowego zużytego na tę uprawę wynosi $184,5 l \cdot ha^{-1}$ [HRYNIEWICZ i in. 2014].

Środki ochrony roślin oraz materiał siewny zostały pominięte ze względu na ich niskie dawki i, co za tym idzie, małe spodziewane wartości emisji CO₂, a także w celu uproszczenia obliczeń i analiz. Pominięto również transport między polem i siedliskiem z powodu małej odległości – 50 m. Nawozy naturalne stosowane w uprawie to obornik i gnojowica od krów mlecznych. Wymagają one innej metody obliczeń ekwiwalentu emisji CO₂ powstałych podczas ich produkcji w porównaniu z nawozami sztucznymi z uwagi na całkowicie różne procesy produkcyjne.

Nawozy naturalne powstają podczas procesu hodowli krów. Według IPCC [2006], emisje CO₂ z produkcji zwierzęcej nie są brane pod uwagę ze względu na założenie

zerowej rocznej emisji netto. Fotosyntetyzowany CO₂ przez rośliny jest zwracany do atmosfery przez oddech zwierząt. W obiegu węgla (C), jego część jest zwracana do atmosfery w postaci metanu (CH₄), co wymaga oddzielnego uwzględnienia w obliczeniach. Produkcja zwierzęca może być źródłem emisji CH₄ z fermentacji jelitowej oraz zarówno CH₄, jak i podtlenku azotu (N₂O) z systemów przechowywania odchodów. Emisje pochodzące bezpośrednio z produkcji zwierzęcej obliczono oddzielnie od emisji pochodzących z systemów przechowywania odchodów.

Dla Europy Wschodniej przyjmuje się emisję 11 kg CH₄·szt.⁻¹·rok⁻¹ pochodzącą od krowy mlecznej [IPCC 2006]. Krowa mleczna daje 12 t obornika·szt.⁻¹·rok⁻¹ oraz 23,2 t gnojowicy·szt.⁻¹·rok⁻¹ [DUER in. 2004]. Emisje metanu z obornika i gnojowicy są proporcjonalne do zawartości w nich suchej masy (s.m.). Ich udział w całkowitej emisji CH₄ przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zawartość suchej masy, średnia wartość suchej masy oraz udział w emisji CH₄
Table 2. Dry matter content, average value of dry matter and share in CH₄ emissions

Nawóz Fertilizer	Sucha masa (s.m.) ¹⁾ Dry matter (DM) ¹⁾ [%]	Średnia s.m. Average DM [%]	Masa Mass [t]	Sucha masa (s.m.) Dry matter (DM) [t]	Udział w CH ₄ Share in CH ₄ [%]
Gnojowica Slurry	8–11	9,5	23,2	2,204	44,39
Obornik Manure	20–26	23	12	2,760	55,60

Źródło: ¹⁾Myczek i in. [2011]; wyniki własne. Source: ¹⁾Myczek et al. [2011]; own study.

Do dalszych obliczeń przyjęto, że emisje przypadające na podane ilości gnojowicy i obornika pochodzące od tej samej krowy wynoszą tyle samo, to jest 5,5 kg CH₄·szt.⁻¹·rok⁻¹ ze względu na praktyczną zmienność ilości suchej masy w odchodach krowy oraz różnych możliwych konfiguracji składników pokarmowych, które wpływają na emisję metanu z odchodów. Zatem przyjęta do dalszych obliczeń emisja CH₄ przypadająca na gnojowicę, to 0,23 kg CH₄·t⁻¹·rok⁻¹, zaś obornika – 0,45 kg CH₄·t⁻¹·rok⁻¹; wartości te są proporcjonalne do ilości gnojowicy i obornika produkowanego przez krowę.

Wskaźniki emisji z systemów przechowywania odchodów podawane przez IPCC [2006] są uzależnione od średniej rocznej temperatury i położenia geograficznego danego państwa. Wskaźniki dla jednej krowy mlecznej zostały wybrane z uwzględnieniem średniej rocznej temperatury w Polsce (6–8°C, klimat chłodny) oraz położenia Polski w Europie Wschodniej. Wskaźniki ilości emisji CH₄ dla poszczególnych systemów zarządzania odchodami, powiązanych ściśle z rodzajem nawozu, odniesiono do masy 1 t zastosowanego rodzaju nawozu i obliczono według wzoru:

$$SZO_CH_4(\text{nawóz}) = m(\text{nawóz}) \cdot \frac{e_{SZO_CH_4}(\text{nawóz})}{m_sztuka(\text{nawóz})} \quad (4)$$

gdzie:

SZO_CH₄(nawóz) – emisje CH₄ z systemu przechowywania odchodów pochodzące z danego nawozu naturalnego [kg CH₄·t⁻¹];

nawóz – nazwa nawozu, nawóz ∈ {gnojowica, obornik};

- m (nawóz) – masa zastosowanego nawozu [$t \cdot ha^{-1}$];
 $e_{SZO_CH_4}$ (nawóz) – emisje jednostkowe z systemu przechowywania odchodów odniesione do odchodów jednej krowy mlecznej [$kg\ CH_4 \cdot szt^{-1} \cdot rok^{-1}$];
 m_sztuka (nawóz) – masa odchodów pochodzących od jednej sztuki [$t \cdot rok^{-1}$].

Wskaźniki ilości emisji N_2O dla poszczególnych systemów przechowywania odchodów powiązanych ściśle z rodzajem nawozu odniesiono do masy 1 t zastosowanego rodzaju nawozu i obliczono według wzoru (5), z zastosowaniem współczynników zaproponowanych przez IPCC [2006]:

$$SZO_N_2O(nawóz) = m_N(nawóz) \cdot e_{SZO_N_2O}(nawóz) \quad (5)$$

gdzie:

- $SZO_N_2O(nawóz)$ – emisja N_2O z systemu przechowywania odchodów [$kg\ N_2O \cdot ha^{-1}$];
 m_N (nawóz) – masa azotu w nawozie [$kg \cdot ha^{-1}$];
 $e_{SZO_N_2O}(nawóz)$ – emisje jednostkowe z systemu przechowywania odchodów odniesione do odchodów jednej krowy mlecznej [$kg\ N_2O \cdot kg\ N^{-1}$].

Ekwiwalent emisji CO_2 pochodzący z produkcji nawozów sztucznych dla Polski obliczono według wzoru (6) ze wskaźnikami pochodzącymi z produkcji nawozów sztucznych w warunkach Polski, które zostały opracowane przez FABERA i in. [2011].

$$CO_2_eq_nawozy_produkcja(nawóz) = m(nawóz) \cdot w_{CO_2_eq}(nawóz) \quad (6)$$

gdzie:

- $CO_2_eq_nawozy_produkcja(nawóz)$ – ekwiwalent emisji CO_2 powstający podczas jego produkcji [$kg\ CO_2 \cdot ha^{-1}$];
 m_N (nawóz) – masa azotu w nawozie [$kg \cdot ha^{-1}$];
 $w_{CO_2_eq}(nawóz)$ – wskaźnik jednostkowy ekwiwalentu emisji CO_2 pochodzący z produkcji nawozów sztucznych w warunkach Polski [$CO_2eq\ kg \cdot kg^{-1}$].

W trakcie uprawy nawozy są aplikowane do gleby. Wraz z upływem czasu niewielka część azotu zawartego w nawozach znajdujących się w glebie utlenia się do N_2O i przedostaje w postaci gazowej do atmosfery. Ilość N_2O dla każdego rodzaju nawozu obliczono według wzoru:

$$N_2O_uprawa(nawóz) = m_N(nawóz) \cdot w_{N_2O}(nawóz) \quad (7)$$

gdzie:

- $N_2O_uprawa(nawóz)$ – ilość emitowanego N_2O z nawozów zaaplikowanych do gleby [$kg\ N_2O \cdot ha^{-1}$];
 m_N (nawóz) – ilość azotu w nawozie [$kg \cdot ha^{-1}$];
 $w_{N_2O}(nawóz)$ – wskaźnik emisji N_2O z ilości azotu, który znajduje się w nawozie [$kg\ N_2O \cdot kg^{-1}$].

Emisje ze zużycia oleju napędowego obliczono według wzoru:

$$CO_2_eq_ON = V_{ON} \cdot wsk_CO_2_eq_{ON} \quad (8)$$

gdzie:

$CO_2_eq_ON$ – emisja ekwiwalentu CO_2 z oleju napędowego [$kg\ CO_2eq \cdot ha^{-1}$];

V_{ON} – objętość zużytego oleju napędowego [$l \cdot ha^{-1}$];

$wsk_CO_2_eq_{ON}$ – wskaźnik emisji ekwiwalentu CO_2 z oleju napędowego, obejmujący emisje od jego wydobycia aż do zużycia [$kg\ CO_2\ e \cdot l^{-1}$] [DECC 2012].

Wyniki badań i dyskusja

Wyniki obliczeń emisji w ekwiwalencie CO_2 do atmosfery zaprezentowano w tabeli 3., natomiast zbiór grup czynników, na które ma wpływ człowiek wraz z odpowiadającymi im emisjami i ich strukturą przedstawiono w tabeli 4. Ilość emisji odniesiona do plonu otrzymanego z ha wynosi $56,35\ kg\ CO_2eq \cdot ha^{-1}$.

Tabela 3. Wyniki obliczeń emisji w ekwiwalencie CO_2 do atmosfery

Table 3. Calculations results of CO_2 equivalent emissions to atmosphere

Źródła emisji do atmosfery Emission sources to atmosphere	Ilość Quantity [t·ha ⁻¹ ; kg·ha ⁻¹ , l·ha ⁻¹]	Wskaźnik Ratio [kg·t ⁻¹ ; kg·kg ⁻¹ , kg·l ⁻¹]	Emisja Emission [kg·ha ⁻¹]	Rodzaj gazu Gas type [symbol]	Wskaźnik równoważnikowy CO ₂ eq ¹⁾ Equivalent index of CO ₂ ¹⁾ [CO ₂ eq·symbol ⁻¹]	Ilość CO ₂ eq Quantity of CO ₂ eq [kg·ha ⁻¹]
1	2	3	4	5	6	7
Obornik – produkcja Manure – production						
Obornik – hodowla Manure – breeding	21	0,45 ²⁾	9,45	CH ₄	25	236,25
Obornik – przechowywanie Manure – storage	21	0,92 ²⁾	19,32	CH ₄	25	483,00
Obornik N – przechowywanie Manure N – storage	116	0,005 ²⁾	0,58	N ₂ O	298	172,84
Gnojowica – produkcja Slurry – production						
Gnojowica – hodowla Slurry – breeding	11	0,23 ²⁾	2,53	CH ₄	25	63,25
Gnojowica – przechowywanie Slurry – storage	11	0,91 ²⁾	10,01	CH ₄	25	250,25
Gnojowica N – przechowywanie Slurry N – storage	46	0,005 ²⁾	0,23	N ₂ O	298	68,54
Razem obornik i gnojowica – produkcja Total manure an slurry – production						1 274,13
Nawozy sztuczne – produkcja Chemical fertilizers – production						
Polifoska 6 [6:20:30:(7)] Polifoska 6 [6:20:30:(7)]	6	2,58 ³⁾	15,48	CO ₂	1	15,48
Mocznik 46% Urea 46%	69	3,68 ³⁾	253,92	CO ₂	1	253,92
Wieloskładnikowy NPK 9-25-25 Multi-nutrients NPK 9-25-25	9	2,58 ³⁾	23,22	CO ₂	1	23,22

1	2	3	4	5	6	7
Saletra amonowa [27:0:0] Ammonium sulphate [27:0:0]	43	3,49 ³⁾	150,07	CO ₂	1	150,07
Sól potasowa (Korn Kali) Potassium salt (Korn Kali)	160	0,24 ³⁾	38,40	CO ₂	1	38,40
Razem nawozy sztuczne – produkcja Total chemical fertilizers – production						481,09
Paliwo – produkcja i uprawa Fuel – production and cropping						
Paliwo – produkcja i uprawa Fuel – production and cropping	184,5	3,2413 ⁴⁾	598,02	CO ₂	1	598,02
Uprawa – emisje z aplikowanych nawozów i gleby Cropping – emissions from applied fertilizers and soil						
Saletra amonowa – N całkowite Ammonium sulphate – N total	43	0,0125 ⁵⁾	0,54	N ₂ O	298	160,92
NPK – N całkowite NPK – N total	9	0,0125 ⁵⁾	0,11	N ₂ O	298	32,78
Polifoska – N całkowite Polifoska – N total	6	0,0125 ⁵⁾	0,08	N ₂ O	298	23,84
Mocznik – N całkowite Urea – N total	69	0,0125 ⁵⁾	0,86	N ₂ O	298	256,28
Gnojowica – N całkowite Slurry – N total	46	0,0115 ⁵⁾	0,53	N ₂ O	298	157,94
Obornik – N całkowite Manure – N total	116	0,0115 ⁵⁾	1,33	N ₂ O	298	396,34
Razem uprawa – emisje z aplikowanych nawozów i gleby Total cropping – emissions from applied fertilizers and soil						1 028,10

Źródło: ¹⁾ IPCC [2007]; ²⁾ IPCC [2006]; ³⁾ FABER i in. [2011]; ⁴⁾ DECC [2012]; ⁵⁾ STALENGA, KAWALEC [2007]; wyniki własne.

Source: ¹⁾ IPCC [2007]; ²⁾ IPCC [2006]; ³⁾ FABER et al. [2011]; ⁴⁾ DECC [2012]; ⁵⁾ STALENGA, KAWALEC [2007]; own study.

CAMARGO i in. [2013] porównali ze sobą sześć prac [BAUM i in. 2009; GELFAND i in. 2010; HOEPPNER i in. 2006; HÜLSBERGEN i in. 2001; PIMENTEL i in. 2005; RATHKE i in. 2007] przedstawiających obliczenia emisji gazów szklarniowych z uprawy kukurydzy. Stwierdzili oni, że emisje te wahały się w zakresie 2,44–4,20 t CO₂eq·ha⁻¹. Według nich, głównymi czynnikami powodującymi rozbieżność rezultatów emisji gazów szklarniowych są zastosowane różne wskaźniki emisji w poszczególnych opracowaniach. W wypadku GELFANDA i in. [2010], wartość wskaźników została użyta kilkakrotnie bez odniesienia się do źródła. WEST i MARLAND [2002] oraz LAL [2004] obliczyli wskaźniki ze zbiorów danych, które nie są dostępne publicznie. Część z rozbieżności wynika również z różnych sposobów uprawy, jak sposób orki, zużycie nawozów lub płodozmian. Nakładają się na to opisane różne praktyki zarządzania uprawą, sposoby obliczania i zastosowane procedury do opisu modeli uprawy. W pracy CAMARGO i in. [2013] zastosowano metodę analizy LCA w połączeniu z opracowanym przez siebie modelem FEAT (ang. Farm Energy Analysis Tool) w celu uzyskania większej przejrzystości analizy emisji gazów szklarniowych. Otrzymano emisję 3,20 t CO₂eq·ha⁻¹ w uprawie kukurydzy na kiszonkę. Jest to wielkość bardzo zbliżona do uzyskanej przez nas wartości 3,38 t CO₂eq·ha⁻¹ i mieści się w zakresie emisji przeanalizowanym przez CAMARGO i in. [2013].

Tabela 4. Struktura emisji czynników związanych z badaną technologią uprawy
 Table 4. Emissions structure of factors linked with investigated cropping technology

Źródła emisji do atmosfery Emissions sources to atmosphere	Ilość Quantity [CO ₂ eq. kg ·ha ⁻¹]	Udział Share [%]	Grupa operacji Operations group	Ilość Quantity [CO ₂ eq. kg ·ha ⁻¹]	Udział Share [%]
Obornik – hodowla Manure – breeding	236,25	6,99	Razem nawozy naturalne produkcja i przechowywanie Total natural fertilizers production and storage	1 274,13	37,68
Obornik – przechowywanie Manure – storage	483,00	14,28			
Obornik N – przechowywanie Manure N – storage	172,84	5,11			
Gnojowica – hodowla Slurry – breeding	63,25	1,87			
Gnojowica – przechowywanie Slurry – storage	250,25	7,40			
Gnojowica N – przechowywanie Slurry N – storage	68,54	2,03			
Polifoska 6 [6:20:30:(7)] Polifoska 6 [6:20:30:(7)]	15,48	0,46	Razem nawozy mineralne produkcja Total mineral fertilizers production	481,09	14,23
Mocznik 46% Urea 46%	253,92	7,51			
Wieloskładnikowy NPK 9-25-25 Multi-nutrients NPK 9-25-25	23,22	0,69			
Saletra amonowa [27:0:0] Ammonium sulphate [27:0:0]	150,07	4,44			
Sól potasowa (Korn Kali) Potassium salt (Korn Kali)	38,40	1,14			
Paliwo – produkcja i uprawa Fuel – production and cropping	598,02	17,69	Paliwo Fuel	598,02	17,69
Saletra amonowa – N całkowite Ammonium sulphate – N total	160,92	4,76	Uprawa – emisje z gleby Cultivation – emissions from soil	1 028,10	30,41
NPK – N całkowite NPK – N total	32,78	0,97			
Polifoska – N całkowite Polifoska – N total	23,84	0,71			
Mocznik – N całkowite Urea – N total	256,28	7,58			
Gnojowica – N całkowite Slurry – N total	157,94	4,67			
Obornik – N całkowite Manure – N total	396,34	11,72			
Razem Total	3 381,34	100,00	Razem Total	3 381,34	100,00

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Podsumowanie

Wskazane byłyby dalsze badania innych technologii produkcji kukurydzy na kisonkę ze względu na stosowane różne technologie oraz wielkości dawek nawożenia podobnie, jak to postulowali ROMAN i KONIECZNA [2013; 2015]. W ten sposób można opracować model wielokryterialny, służący do symulacji emisji, który byłby przydatny do doboru optymalnej technologii uprawy oraz dawek nawozów. Wyniki symulacji pozwoliłyby na zredukowanie emisji gazów cieplarnianych i zmniejszenie ocieplenia klimatu.

Praca została wykonana w ramach Programu wieloletniego na lata 2011–2015 pt. „Standaryzacja i monitoring przedsięwzięć środowiskowych, techniki rolniczej i rozwiązań infrastrukturalnych na rzecz bezpieczeństwa i zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich” dla działania 3.3 „Monitoring skuteczności funkcjonowania instalacji agroenergetycznych oraz efektywności energetycznego wykorzystywania surowców”.

Bibliografia

BACENETTI J., FUSI A., NEGRI M., GUIDETTI R., FIALA M. 2014. Environmental assessment of two different crop systems in terms of biomethane potential production. *Science of the Total Environment*. Vol. 466–467 s. 1066–1077.

BAUM A., PATZEK T., BENDER M., RENICH S., JACKSON W. 2009. The visible, sustainable farm: A comprehensive energy analysis of a Midwestern farm. *Critical Reviews in Plant Sciences*. Vol. 28 s. 218–239.

BORZECKA-WALKER M., FABER A., SYP A., PUDELKO R. 2013. Greenhouse gas emissions from rape seed cultivation for FAME production in Poland. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. Vol. 11 (1) s. 1064–1068.

BORZECKA-WALKER M., FABER A., SYP A., PUDELKO R. 2012. Simulation of greenhouse gasses from miscanthus in Poland using the DNDC model. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. Vol. 10 (2) s. 1187–1190.

CAMARGO G., RYAN M., RICHARD T. 2013. Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the farm energy analysis tool. *BioScience*. Vol. 63(4) s. 263–273.

DECC 2012. Guidelines to Defra/DECC's GHG conversion factors for company reporting [online]. AEA for the Department of Energy and Climate Change (DECC) and the Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra). [Dostęp 10.12.2014]. Dostępny w Internecie: <http://www.epa.gov/climateleadership/documents/emission-factors.pdf>

DUER I., FOTYMA M., MADEJ A. 2004. Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej [Good Agricultural Practice]. Warszawa. MRiRW, MŚ ss. 98.

FABER A., JAROSZ Z., BOREK R., BORZECKA-WALKER M., SYP A., PUDELKO R. 2011. 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 [Emissions of greenhouse gases (CO₂, N₂O and CH₄) for crops of wheat, triticale, rye and corn for the production of bioethanol and oilseed crops for biodiesel production]. Puławy. IUNG ss. 91.

GELFAND I., SNAPP S., ROBERTSON G. 2010. Energy efficiency of conventional, organic, and alternative cropping systems for food and fuel at a site in the U.S. Midwest *Environmental Science Technology*. Vol. 44 s. 4006–4011.

GORZELNIANY J., PUCHALSKI C., MALACH M. 2011. Ocena kosztów i nakładów energetycznych w produkcji kukurydzy na ziarno i kiszonkę [Assesment of costs and energy consumption in the production of maize for the grain maize and silage]. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8 (133) s. 135–141.

GRANT T., BEER T. 2006. Life-Cycle Assessment of greenhouse gas emissions from irrigated maize: the Life-Cycle Analysis [online]. 6th Triennial Conference. Maize Association of Australia. [Dostęp 30.12.2014]. Dostępny w Internecie: http://www.maizeaustralia.com.au/events_files/Life%20cycle%20assessment%20-%20T.%20Beer.pdf

HOEPPNER J., ENTZ M., MCCONKEY B., ZENTNER R., NAGY C. 2006. Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*. Vol. 21 s. 60–67.

HRYNIEWICZ M., GRZYBEK A., MUZALEWSKI A., KONIECZNA A., ROMAN K. 2014. Karta technologiczna uprawy kukurydzy na zielonkę na polu 2 ha [Technological card of corn for silo crop in the field of 2 ha]. *Maszynopis*. [30.06.2014 Warszawa].

HÜLSBERGEN K., FEIL B., BIERMANN S., RATHKE G., KALK W., DIEPENBROCK W. 2001. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. Vol. 86 s. 303–321.

IPCC 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 10. Emissions from livestock and manure management ss. 87.

IPCC 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. Cambridge University Press ss. 104.

ISO 14040:2009. Zarządzanie środowiskowe – ocena cyklu życia – zasady i struktura.

ISO 14044:2009. Zarządzanie środowiskowe – ocena cyklu życia – wymagania i wytyczne.

KACPRZAK A., MATYKA M., KRZYTEK L., LEDAKOWIC S. 2012. Wpływ stopnia nawożenia i czynników atmosferycznych na wydajność produkcji biogazu z wybranych roślin energetycznych [Influence of fertilization and weather conditions on the efficiency of biogas production from selected energy crops]. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*. Nr 4(51) s. 141–142.

KAMIŃSKI A. 2011. Ekspertyza – trendy rozwojowe w mechanizacji nawożenia mineralnego i organicznego [Expertise – development trends in the mechanization of mineral and organic fertilization] [online]. Kłudzienko. ITP [Dostęp 30.12.2014]. Dostępny w Internecie: <http://www.agengpol.pl/LinkClick.aspx?fileticket=8aMA2FvTmfM%3D&tabid=144>

LAL R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International*. Vol. 30 s. 981–990.

MYCZKO A., MYCZKO R., KOŁODZIEJCZYK T., GOLIMOWSKA R., LENARCZYK J., JANAS Z., KILBER A., KARŁOWSKI J., DOLSKA M. 2011. Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. Poradnik dla zainteresowanych budową biogazowni rolniczych [Construction and operation of agricultural biogas plants. Guide for those interested in the construction of agricultural biogas plants]. Falenty. ITP. ISBN 978-83-62416-23-3 ss. 142.

PIMENTEL D., HEPPELY P., HANSON J., DOUDS D., SEIDEL R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience*. Vol. 55 s. 573–582.

RATHKE G., WIENHOLD B., WILHELM W., DIEPENBROCK W. 2007. Tillage and rotation effect on corn – soybean energy balances in eastern Nebraska. *Soil and Tillage Research*. Vol. 97 s. 60–70.

ROMAN K., KONIECZNA A. 2013. Wpływ wielkości nawożenia na bilans NPK i próchnicy w glebie w wybranych technologiach produkcji roślinnej [Impact of the amount of fertilization on NPK and humus in soil balance in the selected plant production technologies]. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 3(145) s. 139–148.

ROMAN K., KONIECZNA A. 2015. Evaluation of a different fertilisation in technology of corn for silage, sugar beet and meadow grasses production and their impact on the environment in Poland. *African Journal of Agricultural Research*. Vol. 10 (12) s. 1351–1358.

ROMANIUK W., MAJCHRZAK M. 2013. Przygotowanie i zadawanie pasz treściwych i objętościowych oraz sposoby ich magazynowania w gospodarstwach rodzinnych i farmerskich [Storage, preparation and discharge of bulk and concentrate feeds in family farms and farming enterprises]. *Inżynieria w Rolnictwie*. Monografie. Nr 13. Falenty. ITP. ISBN 978-83-62416-59-2 ss. 124.

STALENGA J., KAWALEC A. 2007. Ocena wpływu różnych systemów produkcji na poziom emisji podtlenku azotu i bilans glebowy substancji organicznej [Evaluation of the impact of different production systems on the level of emissions of nitrous oxide and the balance of soil organic

substances]. W: Emisja gazów cieplarnianych i amoniaku w rolnictwie. Acta Agrophysica. Rozprawy i Monografie. Nr 4(150) s. 73–75.

SYP A., JAROSZ Z., FABER A., BORZECKA-WALKER M., PUDEŁKO R. 2012. Greenhouse gas emissions from winter wheat cultivation for bioethanol production in Poland. Journal of Food, Agriculture & Environment. Vol. 10 (3&4) s. 1169–1172.

SZEPTYCKI A. 2011. Inżynieria Rolnicza – pożądane kierunki badań w produkcji ziemniaków. [Agricultural engineering – desirable research directions in potato production]. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 3(128) s. 13–20.

WEST T., MARLAND G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol. 91 s. 217–232.

WIELOGÓRSKA G., TURSKA E., CZARNOCKI S. 2008. Ocena technologii stosowanych w gospodarstwach uprawiających kukurydzę na kiszonkę w rejonie środkowowschodniej Polski [Assessment of technologies applied on silage maize producing farms situated in central eastern Poland]. Pamiętnik Puławski. Z. 147 s. 203–213.

Marek Hryniewicz, Anna Grzybek

ESTIMATION OF GREENHOUSE GASES EMISSION FOR MAIZE FOR SILAGE CROP BY LCA METHOD

Summary

The study estimated greenhouse gas emissions in selected technology for maize for silage cultivation with LCA implementation. Cumulative emissions was 3.38 t CO₂eq·ha⁻¹. Emissions amount related to the yield obtained per hectare was 56.35 kg CO₂eq·ha⁻¹. The structure had the largest share of greenhouse emissions from operations related to the production and storage of natural fertilizers – 37.68% (manure – breeding 6.99%, manure storage – 14.28%, manure storage N₂O 5.11%, slurry breeding 1.87%, slurry – storage 7.40%, slurry – storage N₂O 2.03%), followed by emissions from soil in group operations related to the cultivation – 30.32% (for N total: ammonium sulphate – 4.67%, NPK – 0.97%, Polifoska – 0.71%, urea – 7.58%, slurry – 4.67%, manure – 11.72%), emissions associated with fuel production and crop – 17.69%, and emissions of operations related to the mineral fertilizers production – 14.24% (Polifoska – 0.46%, urea – 7.51%, NPK – 0.69%, ammonium sulphate – 4.44%, potassium salt – 1.14%).

Key words: life cycle analysis, LCA, corn, crop, emissions

Adres do korespondencji:

mgr inż. Marek Hryniewicz
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Oddział w Warszawie
ul. Rakowiecka 32, 02–532 Warszawa
tel. 22 542-11-04; e-mail: m.hryniewicz@itp.edu.pl

