

Analiza metodą LCA skumulowanych emisji gazów cieplarnianych powstających podczas uprawy buraka cukrowego

Wpłynęło 27.07.2015 r.
Zrecenzowano 20.10.2015 r.
Zaakceptowano 15.12.2015 r.

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

Marek HRYNIEWICZ^{ABCDEF}, **Anna GRZYBEK**^{ABCDEF},
Łukasz KUJDA^{ABCDEF}

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

Do cytowania For citation: Hryniewicz M., Grzybek A., Kujda Ł. 2015. Analiza metodą LCA skumulowanych emisji gazów cieplarnianych powstających podczas uprawy buraka cukrowego. Problemy Inżynierii Rolniczej. Z. 4(90) s. 89–98.

Streszczenie

W pracy przeprowadzono analizę LCA (ang. Life Cycle Assessment – ocena cyklu życia) procesu produkcji buraka cukrowego. Zakres pracy obejmował wszystkie etapy – od przygotowania pola pod siew aż po zbiór. Analiza obejmowała również produkcję nawozów naturalnych oraz ich przechowywanie, których udział wyniósł ok. 30% całkowitych skumulowanych emisji wyrażonych w ekwiwalencie CO₂. Skumulowane emisje z produkcji nawozów mineralnych, pestycydów oraz nasion wyniosły ok. 26%, udział emisji z produkcji paliwa i jego zastosowania w uprawie – ok. 23%, emisje z nawozów aplikowanych do gleby (naturalnych i mineralnych razem) – ok. 21%, a wskaźnik emisji z uprawy – 96,6 (kg CO₂ eq)·(t buraka)⁻¹. Łączna suma asymilowanego CO₂ dla korzeni i liści buraka cukrowego wyniosła 45 563 kg·ha⁻¹, wskaźnik asymilowanego CO₂ – 0,79 (t CO₂)·(t buraka)⁻¹.

Słowa kluczowe: burak cukrowy, uprawa, emisje, dwutlenek węgla, metoda LCA

Wstęp

Polska ma obowiązek prowadzić coroczny monitoring emisji gazów cieplarnianych (GHG) [MIELCAREK 2012]. Całkowita emisja metanu i podtlenku azotu w rolnictwie, przedstawiona jako ekwiwalent dwutlenku węgla, wyniosła 36 653,86 Gg w 2012 r. i była mniejsza o 34,2% niż w 1988 r. [KOBIZE 2014]. Prowadzony monitoring emisji gazów cieplarnianych wskazuje ilość, a nie źródło emisji. Rolnictwo, które emituje 4% GHG w odniesieniu do innych sektorów gospodarki, nie było do tej pory objęte systemem handlu emisjami ETS. W związku z tym, jak dotychczas, nie rejestrowano emisji pochodzących z rolnictwa. Od 2016 r. wymagane jest przez Unię Europejską zmniejszenie emisji również z tego sektora [ROMAN, KONIECZNA 2015]. Krajom człon-

kowskim Unii Europejskiej zostały zaproponowane przez Dyрекcję Generalną ds. Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich dwa scenariusze zmniejszenia emisji podtlenku azotu oraz metanu o 19 i 28% do 2030 r. (porównaniu z 2005 r.) [BENIAMIN i in. 2015]. Szczególnie istotny wydaje się sposób realizacji tego założenia, bowiem redukcja emisji gazów cieplarnianych ma być realizowana ilościową regulacją produkcji rolnej. Wobec czego niezwykle istotne będą stanowiska państw członkowskich podczas głosowania nad dyrektywą o krajowych pułapach emisji [KRiR 2015]. W celu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych pochodzących z rolnictwa należałoby wskazać źródła emisji tych gazów oraz podjąć próbę ich redukcji przez optymalizację sposobu uprawy i hodowli zwierząt, zgodnie z zaleceniami IPCC [2007]. Do wskazania źródeł emisji z różnych sektorów gospodarki coraz częściej wykorzystywana jest Środowiskowa Ocena Cyklu Życia LCA. Metoda ta jest pomocna w oszacowaniu i analizie konsekwencji środowiskowych pełnych cykli produkcyjnych [FILIP, SAMSON-BRĘK 2011]. Analiza LCA jest coraz powszechniej stosowana w rolnictwie, szczególnie do wskazywania emisji gazów cieplarnianych w uprawach roślin na cele energetyczne. W Polsce metodykę tę wykorzystywała BORZECKA-WALKER i in. [2013] do obliczenia emisji gazów cieplarnianych w uprawie rzepaku stosowanego na biopaliwo oraz WIELOGÓRSKA i in. [2008] dla upraw kukurydzy jako paszy dla bydła. Celem niniejszej pracy jest oszacowanie ilości emisji gazów cieplarnianych powstających w procesie produkcji buraka cukrowego, który również w warunkach nadprodukcji może być przeznaczony na cele energetyczne.

Metody badań

Do określenia emisji CO₂ w uprawie buraka cukrowego posłużyła analiza metodą LCA, której zakres reguluje norma ISO 14040:2009. Wytyczne dla konkretnej oceny technologii zawarte są w normie ISO 14044:2009. Analiza obejmowała proces produkcji buraka cukrowego od momentu przygotowania pola do uprawy aż po transport do miejsca składowania. Wszystkie czynności technologiczne zostały szczegółowo opisane w karcie technologicznej (tab. 1) [HRYNIEWICZ i in. 2014]. W tabeli 2. przedstawiono zidentyfikowane wejścia i wyjścia materiałowe, występujące w procesie produkcji buraka cukrowego, opracowane na potrzeby obliczenia emisji CO₂ w trakcie uprawy i jego asymilacji przez burak cukrowy i liście. Według IPCC [2006], emisji CO₂ powstającej podczas produkcji nawozów naturalnych nie powinno się uwzględniać w rocznej emisji netto. Konieczne jest natomiast uwzględnienie ekwiwalentu CO₂ emisji metanu CH₄ i podtlenku azotu N₂O, pochodzących z produkcji nawozów naturalnych. Emisje pochodzące z produkcji nawozów naturalnych były uwzględniane oddzielnie od emisji pochodzących ze składowania nawozów naturalnych i ich emisji z gleby. Ufność wyników wynosiła 95%, podobnie jak danych IPCC [2006].

Ekwiwalent emisji powstających podczas uprawy buraka cukrowego obliczano według wzoru (1).

$$CO_{2_eq} = \sum_z \prod_g I(z) \cdot W(z, g) \cdot R(g) \quad (1)$$

gdzie:

CO₂_{eq} – ekwiwalent emisji powstających podczas uprawy;

z – źródło emisji, nazwa;

Tabela 1. Karta technologiczna analizowanego procesu produkcji buraka cukrowego
Table 1. Operation sheet of the analyzed process of sugar beet production

Czynność Activity [nazwa] [name]	Ciągnik Tractor [kW]	Narzędzie Tool [nazwa] [name]	Praca Work [cnh] [tractor- hrs]	Zużycie paliwa Fuel usage [dm ³ ·ha ⁻¹]
Podorywka z bronowaniem Skimming and harrowing	59	plóg podorywkowy 7-skbowy 7 furrow plough	2,2	8,7
Załadowanie obornika Manure loading	59	ładowacz czołowy front loader	8	31,6
Wywóz i roztrząsanie Transport and spreading	33	rozrzutnik spreader	8	17,2
Nawożenie PK Fertilization PK	33	rozsiewacz fertilizer distributor	0,46	1
Orka siewna Ploughing before sowing	59	plóg 4-skbowy 4 furrow plough	2,6	10,3
Doprawianie Secondary tillage	59	agregat uprawowy 3,5 m cultivation aggregator 3.5 m	2	7,9
Siew Sowing	33	siewnik punktowy single seeder	4	8,6
Nawożenie PN Fertilization PN	33	rozsiewacz fertilizer distributor	0,46	1
Oprysk/nawożenie N Spraying/fertilization N	33	opryskiwacz sprayer	1,25	2,7
Oprysk Spraying	33	opryskiwacz sprayer	1,25	2,7
Nawożenie N + mikroelementy/ oprysk Fertilization N + microelements/ spraying	33	opryskiwacz sprayer	1	2,2
Zbiór plonu Harvesting	33	kombajn buraczany beet harvester	20	43
Załadunek plonu Harvest loading	59	ładowacz czołowy front loader	20	79
Transport plonu Transport	250	naczepa 20 t trailer 20 t	16	181

Źródło: opracowanie własne na podstawie: HRYNIEWICZ i in. [2014].
Source: own elaboration based on HRYNIEWICZ et al. [2014].

g – rodzaj gazu, symbol $\in \{CO_2, CH_4, N_2O\}$;

$l(z)$ – ilość materiału dla źródła z , $\{t \cdot ha^{-1}, kg \cdot ha^{-1}, l \cdot ha^{-1}\}$;

$W(z, g)$ – wskaźnik emisji, $\{kg \cdot t^{-1}, kg \cdot kg^{-1}, kg \cdot l^{-1}\}$;

$R(g)$ – wskaźnik równoważnikowy służący do przeliczeń emisji poszczególnych gazów g na ekwiwalent CO_2 , wielkość bezwymiarowa.

Do obliczenia emisji powstałej w procesie produkcji buraka cukrowego wykorzystano wskaźniki emisji przedstawione w tabeli 3.

Tabela 2. Zidentyfikowane wejścia i wyjścia materiałowe w procesie produkcji buraka cukrowego

Table 2. Identified materials inputs and outputs for process sugar beet production

Wejścia Inputs				Wyjścia Outputs			
Lp. No	Nazwa Name	Ilość Quantity	Jednostka Unit	Lp. No	Nazwa Name	Ilość Quantity	Jednostka Unit
1	Obornik Manure	40	t·ha ⁻¹	1	Burak cukrowy Sugar beet	57,6	t·ha ⁻¹
2	Sól potasowa Potassium salt	75	kg·ha ⁻¹	2	Liście buraka Beet leaves	47,0	t·ha ⁻¹
3	Fosforan amonu Ammonium phosphate	100	kg·ha ⁻¹	3	Emisje gazów cieplarnianych GHG emissions	do zbadania to investigation	kg·ha ⁻¹
4	Salmag Magnesium saltpeter	250	kg·ha ⁻¹				
5	Mocznik Urea	70	kg·ha ⁻¹				
6	Pestycydy Pesticides	5,2	kg·ha ⁻¹				
7	Nasiona Seeds	2,5	kg·ha ⁻¹				
8	Paliwo Fuel	396,8	l·ha ⁻¹				
9	Asymilowane CO ₂ Assimilated CO ₂	do zbadania to investigation	kg·ha ⁻¹				

Źródło: opracowanie własne na podstawie: HRYNIEWICZ i in. [2014].
Source: own elaboration based on HRYNIEWICZ et al. [2014].

Do obliczenia ilości CO₂ asymilowanego z powietrza przez korzenie buraka cukrowego zastosowano wzór (2):

$$CO_{2-M} = P_K \cdot Z_K \cdot W_K \cdot S_W \cdot U_C^{-1} \quad (2)$$

gdzie:

CO_{2-M} – masa asymilowanego CO₂ przez korzenie buraka [kg·ha⁻¹];

P_K – plon korzeni buraka [t·ha⁻¹];

Z_K – zawartość suchej masy korzeni [%];

W_K – wskaźnik ilości azotu w suchej masie zawartej w korzeniach [g·kg⁻¹];

S_W – stosunek węgla do azotu w korzeniach [wielkość bezwymiarowa];

U_C – udział C w asymilowanym CO₂ [%].

Do obliczenia ilości CO₂ asymilowanego z powietrza przez liście buraka cukrowego zastosowano wzór (3):

$$CO_{2-L} = P_L \cdot Z_L \cdot W_L \cdot S_W \cdot U_C^{-1} \quad (3)$$

gdzie:

CO_{2-L} – masa asymilowanego CO₂ przez liście buraka [kg·ha⁻¹];

P_L – plon liści buraka [t·ha⁻¹];

Z_L – zawartość suchej masy w liściach [%];

Tabela 3. Zestawienie wskaźników emisji z poszczególnych materiałów dla różnych gazów cieplarnianych i ich wskaźników równoważnikowych

Table 3. Juxtaposition of emission factors from individual materials for different greenhouse gasses and their equivalent indexes

Nazwa źródła Source name	Rodzaj gazu Gas type	Wskaźnik emisji Emission factor	Jednostka emisji Emission unit	Wskaźnik równoważnikowy Equivalent index	Źródło Source
Obornik – hodowla Manure – breeding	CH ₄	0,45	kg·t ⁻¹	25	IPCC [2006]
Obornik – przechowywanie Manure – storage	CH ₄	0,92		25	IPCC [2006]
Obornik – przechowywanie Manure – storage	N ₂ O	0,005		298	IPCC [2006]
Sól potasowa – produkcja Potassium salt – production	CO ₂	0,24	kg·kg ⁻¹	1	FABER i in. [2011]
Fosforan amonu – produkcja Ammonium phosphate – production	CO ₂	2,89		1	FABER i in. [2011]
Salmag – produkcja Magnesium saltpeter – production	CO ₂	3,49		1	FABER i in. [2011]
Mocznik – produkcja Urea – production	CO ₂	3,68		1	FABER i in. [2011]
Pestycydy – produkcja Pesticides – production	CO ₂	11,00	kg·l ⁻¹	1	Biograce [2015]
Nasiona Seeds	CO ₂	0,37	kg·kg ⁻¹	1	Biograce [2015]
Paliwo – produkcja i uprawa Fuel – production and cultivation	CO ₂	3,2413	kg·l ⁻¹	1	DECC [2012]
Obornik – uprawa Manure – cultivation	N ₂ O	0,0125	kg·kg ⁻¹	298	STALENGA, KAWALEC [2007]
Fosforan amonu – uprawa Ammonium phosphate – cultivation	N ₂ O	0,0125		298	STALENGA, KAWALEC [2007]
Salmag – uprawa Magnesium saltpeter – cultivation	N ₂ O	0,0125		298	STALENGA, KAWALEC [2007]
Mocznik – uprawa Urea – cultivation	N ₂ O	0,0115		298	STALENGA, KAWALEC [2007]

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

W_L – wskaźnik ilości azotu w suchej masie zawartej w liściach [g·kg⁻¹];

S_W – stosunek azotu w liściach [wielkość bezwymiarowa];

U_C – udział C w asymilowanym CO₂ [%].

Łączną masę asymilowanego CO₂ przez korzenie i liście buraka cukrowego obliczono z zastosowaniem wzoru (4):

$$CO_{2_A} = CO_{2_K} + CO_{2_L} \quad (4)$$

gdzie:

CO_{2_A} – łączna masa asymilowanego CO₂ przez korzenie i liście buraka cukrowego [kg·ha⁻¹].

Dyskusja wyników

Wyniki obliczeń emisji dwutlenku węgla (przeliczone na ekwiwalent CO₂) z poszczególnych źródeł zaprezentowano w tabeli 4. Przedstawiono także procentowy udział tych emisji w odniesieniu do całego procesu. Dodatkowo poszczególne źródła emisji zostały przydzielone do poszczególnych operacji. W tabeli 5. podano natomiast poszczególne czynniki niezbędne do obliczenia ilości CO₂ asymilowanego z atmosfery przez rośliny do wytworzenia korzeni i liści buraków cukrowych, wraz z podaniem wyników obliczeń: suchej masy, masy azotu i węgla oraz masy asymilowanego CO₂ z atmosfery. Suma asymilowanego CO₂ łącznie przez korzenie i liście buraka cukrowego wynosi 45 563 kg·ha⁻¹. Przeliczenie tej wartości w stosunku do plonu buraka daje wskaźnik wynoszący 0,79 t asymilowanego CO₂ przez jedną tonę buraka.

Tabela 4. Wyniki obliczeń emisji ekwiwalentu CO₂ do atmosfery
Table 4. The results of calculations of CO₂ equivalent emissions to the atmosphere

Źródła emisji do atmosfery [nazwa] Sources of emissions to the atmosphere [name]	Ilość Quantity [CO ₂ eq. kg·ha ⁻¹]	Udział Share [%]	Typ grupy operacji [nazwa] Operations group type [name]	Ilość Quantity [CO ₂ eq. kg·ha ⁻¹]	Udział Share [%]
Obornik – hodowla Manure – breeding	450,00	7,99	razem obornik – produkcja i przechowywanie total manure – production and storage	1 691,84	30,04
Obornik – przechowywanie Manure – storage	920,00	16,34			
Obornik – przechowywanie N Manure – storage N	321,84	5,72			
Sól potasowa (Korn Kali) Potassium salt (Korn Kali)	18,00	0,32	razem nawozy sztuczne – produkcja total fertilizers – production	1 503,30	26,70
Fosforan amonu Ammonium phosphate	289,00	5,13			
Saletra magnezowa (Salmag) Magnesium saltpeter (Salmag)	872,50	15,49			
Mocznik Urea	257,60	4,57			
Pestycydy Pesticides	57,20	1,02			
Nasiona Seeds	9,00	0,16			
Paliwo – produkcja i uprawa Fuel – production and cultivation	1 286,15	22,84	paliwo fuel	1 286,15	22,84
Fosforan amonu – N Ammonium phosphate – N	33,53	0,6	uprawa – emisje z aplikowanych nawozów do gleby cultivation – emissions of applied fertilizers to soil	1 149,99	20,42
Saletra magnezowa (Salmag) – N Magnesium saltpeter (Salmag) – N	257,03	4,56			
Mocznik – N Urea – N	119,20	2,12			
Obornik – N całkowite Manure – N Total	740,23	13,14			
Razem Total	5 631,28	100,00			

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

W literaturze polskiej spotyka się mało opracowań dotyczących zastosowania metody LCA w rolnictwie. W celu porównania wyników, skorzystano z opracowania MORTIMERA [2004], w którym przedstawiono badania modelowe dotyczące procesu produkcji buraka cukrowego i pszenicy na bioetanol. Z badań tych wynika, że emisja wyniosła $118 \text{ (kg CO}_2 \text{ eq)} \cdot \text{(t buraka)}^{-1}$. W przypadku badanej technologii uprawy buraka cukrowego, zaprezentowanej w niniejszej pracy, uzyskany wynik jest bardzo zbliżony i wynosi $96,6 \text{ (kg CO}_2 \text{ eq)} \cdot \text{(t buraka)}^{-1}$. Powstałe różnice wynikają m.in. z ilości zastosowanych nawozów sztucznych. Wyniki obliczeń wskazują na większą asymilację CO₂ z powietrza o ok. 40 t niż łączne emisje wyrażone w ekwiwalencie CO₂, które powstają podczas wytwarzania i zastosowania poszczególnych materiałów w danej technologii uprawy. Z przeprowadzonych badań wynika, że najwięcej emisji pochodzi z produkcji i przechowywania nawozów naturalnych. Emisja z produkcji nawozów naturalnych stanowi 7,99%, skumulowana emisja CO₂ z przechowywania obornika to 16,34%, a emisja skumulowana N₂O z przechowywania obornika – 5,72%, co łącznie stanowi ok. 30% udziału w całym procesie. Produkcja nawozów sztucznych oraz ich zastosowanie powoduje ok. 26,70%. Emisje związane z produkcją oraz wykorzystaniem oleju napędowego wynoszą 22,84% emisji w odniesieniu do całego procesu produkcyjnego. Emisje z aplikowanych nawozów do gleby wynoszą 20,42%. W porównaniu z innymi źródłami, stosunkowo małe wydają się być emisje pochodzące z produkcji pestycydów (1,0%) oraz produkcji nasion buraka (0,2%).

Tabela 5. Zestawienie czynników służących do obliczenia masy asymilowanego CO₂ przez korzenie i liście buraków cukrowych

Table 5. Juxtaposition of factors which are necessary in sequence of assimilated CO₂ calculation for roots and lists of sugar beets

Czynnik [nazwa]	Factor [name]	Korzeń Root	Liście Leaves	Źródło Source
Plon [t]	Yield [t]	57,6	47	HRYNIEWICZ i in. [2014]
Średnia zawartość suchej masy [%]	Average dry matter content [%]	23	13	KSW [2015]
Sucha masa s.m. [kg s.m.] ([3] = [1]·[2])	Dry matter DM [kg DM] ([3] = [1]·[2])	13 248	6 110	wyniki własne own study
Wskaźnik suchej masy N [g·kg ⁻¹]	N dry matter index [g·kg ⁻¹]	19	33	SGGW [2015]
Sucha masa N [kg] ([5] = [3]·[4])	N dry mass [kg] ([5] = [3]·[4])	252	202	wyniki własne own study
Proporcja C:N	Ratio C:N	40	11	WHITMORE, GROOT [1997]
Masa C [kg] ([7] = [5]·[6])	C mass [kg] ([7] = [5]·[6])	10 080	2 222	wyniki własne own study
Udział C w asymilowanym CO ₂ [%]	C share in assimilated CO ₂ [%]	27,27	27,27	
Masa asymilowanego CO ₂ [kg] ([9] = [7]·[8])	Assimilated CO ₂ mass [kg] ([9] = [7]·[8])	37 333	8 230	

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Podsumowanie

Realizacja polityki zrównoważonego rozwoju zobowiązuje do zmniejszenia zużycia energii oraz stosowania metod przyjaznych środowisku. Oznacza to racjonalne wykorzystanie nawozów mineralnych oraz środków ochrony roślin. W niniejszej technologii uprawy buraka cukrowego dominowały emisje powstające na skutek zastoso-

wania nawozów naturalnych, nawozów mineralnych oraz oleju napędowego. W celu zmniejszenia emisji z nawozów mineralnych należałoby stosować związki przyspieszające przyswajanie azotu przez rośliny, które zmniejszyłyby zapotrzebowanie na nawozy stosowane do uprawy buraków. Emisje pochodzące z oleju napędowego można zmniejszyć, zastępując olej napędowy biopaliwem. Istotny problem stanowią nawozy naturalne, dlatego należy kontynuować badania nad zagospodarowaniem tych nawozów w celu redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Niniejszą analizę w dużym stopniu przeprowadzono na podstawie danych szacunkowych, brak jest bowiem w Polsce badań kompleksowych (zgodnie z metodą LCA – od kołyski do grobu), dotyczących emisji gazów cieplarnianych powstałych w procesie produkcji buraka cukrowego, czego wymaga metoda LCA.

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

Biograce 2015. Harmonised calculations of bioenergy greenhouse gas emissions in Europe [online]. Dostęp [26.05.2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.biograce.net/>

BORZĘCKA-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.

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>

FABER A., JAROSZ Z., BOREK R., BORZĘCKA-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 maize to produce bioethanol and oilseed crops for biodiesel production]. Ekspertyza wykonana na zlecenie MRiRW – Umowa BDGzp-2125A-1/11. Puławy. IUNG ss. 91.

FILIP A., SAMSON-BRĘK I. 2011. Miejsce oceny cyklu życia w systemie zarządzania środowiskowego [Place the life cycle assessment in the environmental management system]. *Studia Ecologiae et Bioethicae*. T. 9. Nr 4 s. 65–77.

HRYNIEWICZ M., GRZYBEK A., MUZALEWSKI A., KONIECZNA A., ROMAN K. 2014. Karta technologiczna uprawy buraka cukrowego [Data analyzed technological process sugar beet production]. Maszynopis. [30.06.2014 Warszawa].

IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10. Emissions from livestock and manure management [online]. [Dostęp 25.05.2015]. Dostępny w Internecie: www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf

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 – ocean cyklu życia – zasady i struktura.

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

KOBIZE 2011. Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2011. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988–2009 [National Inventory Report 2011. Inventory of greenhouse gas emissions in Poland for the years 1988–2009 [online]. Warszawa. [Dostęp 25.05.2015]. Dostępny w Internecie: http://www.kobize.pl/materiały/Inwentaryzacje_krajowe/NIR_2011_Polska_25.05.2011.pdf

KRRR 2015. Za emisję gazów cieplarnianych odpowiedzialni rolnicy? [Will farmers responsible for greenhouse gas emission?] [online]. [Dostęp 12.12.2015]. Dostępny w Internecie: www.krir.pl/2014-01-03-03-24-03/pozostale/3869-za-emisje-gazow-cieplarnianych-odpowiedza-rolnicy#

KWS 2015. Burak cukrowy – wydajny substrat energetyczny do produkcji biogazu [Sugar beet efficient energy substrate for biogas production]. Materiały firmy KWS Polska Sp. z o.o [online]. [Dostęp 25.05.2015]. Dostępny w Internecie: http://www.kws.pl/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaahvzsd

MIELCAREK P. 2012. Weryfikacja wartości współczynników emisji amoniaku i gazów cieplarnianych z produkcji zwierzęcej [Verification of emission coefficients of ammonia and greenhouse gases]. Inżynieria Rolnicza. Nr 4 s. 267–276.

MORTIMER N.D., ELSAYED M.A., HORNE R.E. 2004. Energy and greenhouse gas emissions for bioethanol production from wheat grain and sugar beet. Final Report for British Sugar plc. Report No. 23/1. Resource Research Unit, School of Environment and Development, Sheffield Hallam University ss. 180.

ROMAN K.K., KONIECZNA A. 2015. Evaluation of different fertilization 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.

SGGW 2015. Skład chemiczny roślin – wiadomości wprowadzające [The chemical composition of plants – introductory news]. Materiały e-learningowe [online]. [Dostęp 25.05.2015]. Dostępny w Internecie: <http://e.sggw.pl/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=20367>

STALENGA J., KAWALEC A. 2007. Ocena wpływu różnych systemów produkcji na poziom emisji podtlenku azotu i bilans glebowy substancji organicznej [Assessment of the impact of various production systems on nitrous oxide emissions and the balance of soil organic matter]. W: Emisja gazów cieplarnianych i amoniaku w rolnictwie [Reduction of greenhouse gases and ammonia in agriculture]. Acta Agrophysica. Rozprawy i Monografie. No. 150(4) s. 73–75.

VAN DOORSLAER B., WITZKE P., HUCK I., WEISS F., FELLMANN Th., SALPUTRA G., JANSSON T., DRABIK S., LEIP A. 2015. An economic assessment of GHG mitigation policy options for EU agriculture [online]. [Dostęp 12.12.2015]. Dostępny w Internecie: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC93434/jrc90788_ecampa_final.pdf

WHITMORE A., GROOT J. 1997. The decomposition of sugar beet residues: mineralization versus immobilization in contrasting soil types. Plant and Soil. Vol. 192 s. 237–247.

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. 203–212.

Marek Hryniewicz, Anna Grzybek, Łukasz Kujda

**LCA ANALYSIS OF CUMULATIVE GREENHOUSE GAS EMISSIONS
FROM THE CULTIVATION OF SUGAR BEET**

Summary

This paper is an LCA (Life Cycle Assessment) analysis of the sugar beet production process. The scope of work covered all cultivation phases – from field preparations for sowing, up to the harvest. The analysis also covered the production and storage of organic fertilizers, their share amounted to approx. 30% of the total cumulative emissions expressed in CO₂ equivalent. Cumulative emissions from the production of mineral fertilizers, pesticides and seeds amounted to approx. 26%. The share of emissions from fuel production and its usage in cultivation stood at approx. 23%, emissions from fertilizers applied to the soil (organic and mineral altogether) stood at approx. 21% and the emission factor from cultivation was 96.6 (kg CO₂eq)·(t beet)⁻¹. The total amount of CO₂ assimilated by the roots and leaves of sugar beet was 45 563 kg·ha⁻¹ and the CO₂ assimilation index – 0.79 (kg CO₂)·(t beet)⁻¹.

Key words: sugar beet, cultivation, emissions, carbon dioxide, LCA method

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