

Zakład Systemów Produkcji Rolniczej, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego
Polskiej Akademii Nauk, ul. Bukowska 19, 60-809 Poznań
e-mail: malgorzata.holka@isrl.poznan.pl

MAŁGORZATA HOLKA , JERZY BIENKOWSKI 

Ocena emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia produkcji pszenicy ozimej w różnych systemach uprawy roli

Assessing the greenhouse gas emissions from life cycle of winter wheat
production in different soil tillage system

Streszczenie. Celem badań była ocena emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia produkcji pszenicy ozimej w różnych systemach uprawy roli. Materiał do analiz stanowiły dane zebrane w 15 wybranych gospodarstwach rolnych, położonych w województwie wielkopolskim, prowadzących uprawę pszenicy ozimej w różnych systemach uprawy roli (tradycyjny, uproszczony i siew bezpośredni), w latach 2015–2017. Badania wykonano metodą oceny cyklu życia „od kotłyszki do bramy” gospodarstwa, tzn. od pozyskania surowców i wytwarzania środków do produkcji rolniczej, poprzez procesy uprawy pszenicy, do zbioru ziarna. Obliczony wskaźnik potencjału globalnego ocieplenia dla produkcji pszenicy w systemach uprawy tradycyjnej, uproszczonej i siewu bezpośredniego z uwzględnieniem sekwestracji węgla wynosił odpowiednio 2339,7 kg CO₂ ekw. ha⁻¹, 1851,9 kg CO₂ ekw. ha⁻¹ i 2131,5 kg CO₂ ekw. ha⁻¹. Największym źródłem emisji gazów cieplarnianych były nawozy azotowe. Uprawa bezorkowa wraz ze stosowaniem poplonów i pozostawianiem dużej ilości resztek poźniwnych na polu zwiększała sekwestrację węgla organicznego, przyczyniając się do zmniejszania potencjału globalnego ocieplenia dla produkcji pszenicy.

Słowa kluczowe: emisje rolnicze, pszenica ozima, uprawa roli, ocena cyklu życia, potencjał globalnego ocieplenia, sekwestracja węgla organicznego

WSTĘP

Produkcja zbóż jest jednym z głównych kierunków produkcji rolniczej w Polsce [Rachoń i Kawczyńska 2018]. W strukturze zasiewów zboża stanowią 72% [GUS 2019]. W uprawie zbóż dominuje pszenica (*Triticum aestivum* L.). Areal jej upraw w latach

2010–2018 zwiększył się o 11,4%, osiągając 2,4 mln ha. Większość powierzchni uprawy pszenicy zajmuje forma ozima (80%) [Bank Danych Lokalnych 2020]. Gatunek ten odznacza się wysokimi wymaganiami w stosunku do stanowiska i agrotechniki [Bednarek i in. 2009]. W produkcji pszenicy stosuje się głównie tradycyjny system uprawy roli, oparty na orce. Jednak ze względu na duże koszty uprawy konwencjonalnej, uwarunkowania przyrodnicze i ochronę środowiska w nowoczesnych technologiach produkcji roślin wprowadza się systemy uprawy bezorkowej [Święcicki i in. 2011]. Najczęściej jest to uprawa uproszczona, polegająca na zastępowaniu pługa innymi maszynami w celu płytkiego spulchnienia gleby. Możliwe jest też, choć mniej popularne, stosowanie systemu siewu bezpośredniego, w którym nasiona wysiewa się za pomocą specjalistycznego siewnika w nieuprawioną glebę [Jankowiak i Małecka 2008].

Wykorzystanie wyspecjalizowanych maszyn, nawozów mineralnych i środków ochrony roślin pozwala na intensywną produkcję i osiągnięcie wysokich plonów roślin w różnych systemach uprawy roli, ale może też mieć negatywny wpływ na środowisko. Stosowanie przemysłowych środków produkcji rolniczej przyczynia się do zużywania zasobów nieodnawialnych i uwalniania szkodliwych substancji do wody, gleby i powietrza [Głodowska i Gałązka 2018]. W polskim rolnictwie produkcja roślinna odpowiada za około 33% emisji gazów cieplarnianych (ang. *greenhouse gases*, GHG), takich jak podtlenek azotu (N_2O), metan (CH_4) i dwutlenek węgla (CO_2) [Pawlak 2017]. Zakłada się, że wzrost globalnej średniej temperatury powierzchni Ziemi jest częściowo spowodowany antropogenicznym zwiększeniem koncentracji GHG w atmosferze, które nasila efekt cieplarniany [Kundzewicz 2011]. Według Fabera i in. [2019] przewidywane zmiany klimatu mogą przyczynić się do spadku plonu pszenicy ozimej w zakresie od 5 do 18%.

Unia Europejska (UE) podejmuje działania na rzecz ograniczenia emisji GHG. W konkluzjach Rady Europejskiej z 2014 r. przyjęto, że w UE do roku 2030 w sektorach nieobjętych unijnym systemem handlu uprawnieniami do emisji (tzw. non-ETS), do których zalicza się rolnictwo, emisje GHG mają zostać zmniejszone o 30% w stosunku do poziomu z 2005 r. [European... 2014]. Cel redukcyjny dla Polski w perspektywie 2030 r. wynosi 7% w stosunku do emisji z sektorów non-ETS z 2005 r. [Rozporządzenie... 2018]. Producenci rolni są świadomi zmian zachodzących w klimacie oraz ich skutków, co stwarza duże szanse na powodzenie w realizacji podejmowanych przez nich działań w celu ograniczenia emisji GHG [Sulewski 2017].

Emisje GHG generowane są w całym cyklu życia produktu rolniczego, począwszy od procesów wydobycia surowców i wytwarzania środków do produkcji rolniczej, poprzez produkcję rolniczą, do wykorzystania produktów i zagospodarowania powstałych odpadów [Moudry i in. 2013]. Ocenę potencjalnych zagrożeń dla środowiska powstających w cyklu życia produktu można wykonać metodą oceny cyklu życia (ang. *life cycle assessment*, LCA) [Caffrey i Veal 2013]. Identyfikacja najważniejszych źródeł emisji GHG w cyklu życia produkcji pszenicy jest ważna dla wskazania rozwiązań mających na celu redukcję emisji w produkcji roślinnej. Potrzeba badań w tym zakresie dotyczy także poznania wielkości i zróżnicowania emisji pomiędzy stosowanymi systemami uprawy roli.

Celem badań była ocena emisji GHG w cyklu życia produkcji pszenicy ozimej w różnych systemach uprawy roli.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w 15 wybranych gospodarstwach rolnych w województwie wielkopolskim w latach 2015–2017. Głównymi kryteriami doboru gospodarstw było prowadzenie produkcji pszenicy ozimej oraz stosowanie odpowiedniego systemu uprawy roli, tj. tradycyjnego, uproszczonego lub siewu bezpośredniego. Ogólną charakterystykę badanych gospodarstw przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Charakterystyka badanych gospodarstw (średnie z lat oraz zakres min. – maks. w nawiasach)

Table 1. Characteristics of studied farms (averages from the study years with min – max range in parentheses)

Wyszczególnienie Specification		System uprawy roli – Soil tillage system		
		uprawa tradycyjna conventional tillage	uprawa uproszczona reduced tillage	siew bezpośredni direct sowing
Liczba gospodarstw Number of farms		5	5	5
Powierzchnia użytków rolnych w gospodarstwie (ha) Utilised agricultural area per farm (ha)		35,2 (7,8–73,1)	69,4 (18,5–156,3)	316,0 (44,5–975,0)
Obsada zwierząt (DJP ha ⁻¹ UR) Livestock density (LSU ha ⁻¹ UAA)		0,6 (0–1,0)	0,3 (0–1,1)	1,6 (0–4,9)
Struktura zasiewów (%) Cropping pattern (%)	zboża cereals	85,1 (65,5–100,0)	62,0 (39,9–76,7)	66,4 (37,4–100,0)
	okopowe root crops	7,2 (0–16,6)	9,1 (0–40,5)	5,9 (0–21,2)
	oleiste oil plants	5,7 (0–26,7)	20,3 (0–29,7)	8,8 (0–25,9)
	pozostałe rośliny other plants	2,0 (0–12,6)	8,6 (0–20,8)	18,9 (0–62,6)
	poplony catch crops	11,5 (0,0–23,0)	27,0 (0,0–45,9)	19,7 (0,0–40,2)

Materiałem do analiz były dane o produkcji pszenicy, które pozyskano z badanych gospodarstw metodą wywiadu bezpośredniego, z wykorzystaniem formularzy kwestionariusza wywiadu. Gromadzone dane obejmowały szczegółowe informacje dotyczące rodzaju wykonywanych prac polowych, wykorzystywanych maszyn rolniczych, zużycia materiału siewnego, nawozów, środków ochrony roślin i paliwa. Podstawowe dane o poniesionych nakładach w produkcji pszenicy w systemach uprawy tradycyjnej, uproszczonej i siewu bezpośredniego zestawiono w tabeli 2. Średni plon ziarna pszenicy w uprawie tradycyjnej, uproszczonej i siewie bezpośrednim wynosił odpowiednio: 7,6 t ha⁻¹, 6,9 t ha⁻¹ i 6,6 t ha⁻¹.

Tabela 2. Najważniejsze nakłady w produkcji pszenicy ozimej w badanych systemach uprawy roli (średnie z badanych lat i zakres min. – maks. w nawiasach)
Table 2. Main inputs for winter wheat production in the studied soil tillage systems (averages from the study years with min – max range in parentheses)

Wyszczególnienie Specification	System uprawy roli – Soil tillage system		
	uprawa tradycyjna conventional tillage	uprawa uproszczona reduced tillage	siew bezpośredni direct sowing
Materiał siewny (kg ha ⁻¹) Seeds (kg ha ⁻¹)	191,0 (150,0–210,0)	192,0 (150,0–220,0)	182,0 (150,0–200,0)
Nawozy azotowe (kg N ha ⁻¹) Nitrogen fertilizers (kg N ha ⁻¹)	117,6 (78,8–160,8)	130,1 (66,0–214,4)	147,2 (82,0–269,4)
Nawozy fosforowe (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹) Phosphorus fertilizers (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	26,6 (0–46,0)	48,0 (0–80,0)	33,4 (0–60,0)
Nawozy potasowe (kg K ₂ O ha ⁻¹) Potassium fertilizers (kg K ₂ O ha ⁻¹)	35,6 (0–60,0)	99,3 (56,0–129,0)	104,5 (0–287,0)
Środki ochrony roślin (kg s.a. ha ⁻¹) Plant protection products (kg a.s. ha ⁻¹)	2,04 (0,86–3,33)	2,16 (0,71–4,88)	1,43 (0,40–3,49)

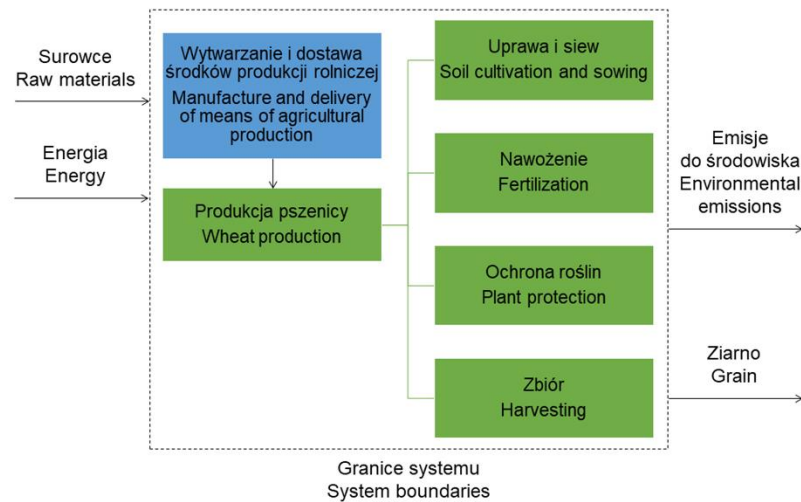
Ocenę emisji GHG przeprowadzono zgodnie z metodyką oceny cyklu życia (LCA), która składa się z czterech faz: (1) określenia celu i zakresu badań, (2) analizy zbioru wejść i wyjść (ang. *life cycle inventory*, LCI), (3) oceny wpływu cyklu życia (ang. *life cycle impact assessment*, LCIA) oraz 4) interpretacji [Brentrup i in. 2004, PN-EN ISO 14040:2009]. W pierwszej fazie określa się cel badań, granice systemu oraz jednostkę funkcjonalną. Faza LCI polega na tworzeniu zbioru danych wejściowych i wyjściowych dla badanego systemu. W fazie LCIA po dokonaniu wyboru kategorii i wskaźników

kategorii, klasyfikuje się wyniki LCI do odpowiedniej kategorii wpływu i szacuje się wielkość wpływu za pomocą parametrów charakteryzowania. Z kolei w ostatniej fazie następuje analiza wyników i sformułowanie wniosków.

Badania wykonano w zakresie „od kołyski do bramy” gospodarstwa (rys. 1). Granice analizowanego systemu obejmowały procesy wytworzenia środków produkcji rolniczej i uprawy pszenicy. Za jednostkę funkcjonalną przyjęto 1 ha powierzchni uprawy. Analiza zbioru wejść i wyjść dla procesów jednostkowych została przeprowadzona na podstawie danych o zużyciu środków produkcji oraz oceny emisji substancji do środowiska. Wielkość emisji pochodzących z procesów wytwarzania agrochemikaliów i zastosowania maszyn rolniczych obliczono z wykorzystaniem bazy danych Ecoinvent 3.0 [2019]. Emisje ze stosowania nawozów mineralnych oceniono według metodyk opracowanych przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change) [IPCC 2006] i Europejską Agencję Środowiska (ang. European Environment Agency) [EEA 2013]. Natomiast w ocenie emisji ze spalania paliw w zabiegach agrotechnicznych wykorzystano wytyczne EEA [2016]. W fazie LCIA zastosowano metodę CML (ang. Centre of Environmental Science, tłum. Centrum Nauki o Środowisku), polegającą na ocenie punktów pośrednich [Guinée i in. 2002]. Analizowaną kategorią wpływu było globalne ocieplenie, której parametrem charakteryzowania jest potencjał globalnego ocieplenia (ang. *global warming potential*, GWP). Wartość wskaźnika GWP w horyzoncie czasowym 100 lat, w przeliczeniu na kilogramy ekwiwalentu CO₂ obliczono zgodnie z równaniem [Guinée i in. 2002]:

$$GWP = \sum_i m_i \cdot CF_i$$

gdzie: m_i – emisja substancji „i” (w kg), CF_i – współczynnik charakteryzacji kategorii wpływu globalnego ocieplenia dla substancji „i”, określający potencjał efektu cieplarnianego substancji w określonym horyzoncie czasowym (w kg CO₂ ekw. na 1 kg substancji).



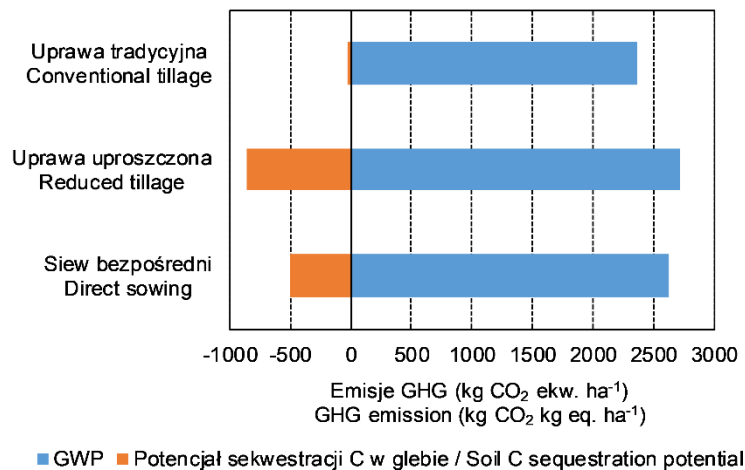
Rys. 1. Schemat badanego systemu produkcji pszenicy ozimej
Fig. 1. Scheme of the studied system of winter wheat production

Potencjał sekwestracji węgla organicznego (C) w perspektywie 100 lat oszacowano jako 10% nadwyżki dopływu C w glebie nad jego referencyjnym odpływem określonym dla uprawy pszenicy, przy założeniu pozostawiania słomy na polu [Petersen i in. 2013]. W dopływach C do gleby uwzględniono przyorywanie słomy, masę korzeniową pszenicy oraz uprawę poplonów.

WYNIKI I DYSKUSJA

Obliczone średnie wartości GWP w odniesieniu do 1 ha powierzchni uprawy pszenicy ozimej w systemach uprawy tradycyjnej, uproszczonej i siewu bezpośredniego wynosiły odpowiednio 2360,8 kg CO₂ ekw. ha⁻¹, 2717,7 kg CO₂ ekw. ha⁻¹ oraz 2627,9 kg CO₂ ekw. ha⁻¹ (rys. 2). Większa wartość tego wskaźnika w systemach bezorkowych wynikała przede wszystkim z większego zużycia nawozów mineralnych w porównaniu z uprawą tradycyjną (tab. 2). Wraz ze zwiększaniem poziomu nawożenia azotem obserwuje się duży wzrost emisji GHG w produkcji pszenicy [Charles i in. 2006, Wójcik-Gront i Bloch-Michalik 2016]. W badaniach Syp i in. [2015] wskaźnik GWP w uprawie pszenicy wynosił od 2378 kg CO₂ ekw. ha⁻¹ dla małych gospodarstw do 2759 kg CO₂ ekw. ha⁻¹ dla dużych gospodarstw, co było związane z intensywnością produkcji.

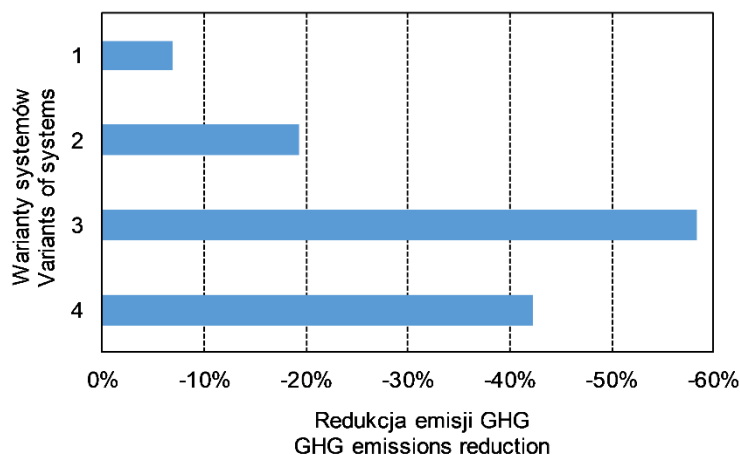
Uwzględnienie potencjału sekwestracji C w emisjach GHG pozwoliło osiągnąć wartość GWP netto dla produkcji pszenicy zmniejszoną w stosunku do wartości wyjściowej w uprawie tradycyjnej o 0,9% (wskaźnik wynosił 2339,7 kg CO₂ ekw. ha⁻¹),



Rys 2. Wartości potencjału globalnego ocieplenia (GWP) oraz potencjału sekwestracji C w glebie w odniesieniu do 1 ha powierzchni uprawy pszenicy ozimej w trzech systemach uprawy roli (średnie z badanych lat)

Fig. 2. Values of GWP and soil C sequestration potential per 1 ha of cultivation area of winter wheat in three soil tillage systems (averages from the study years)

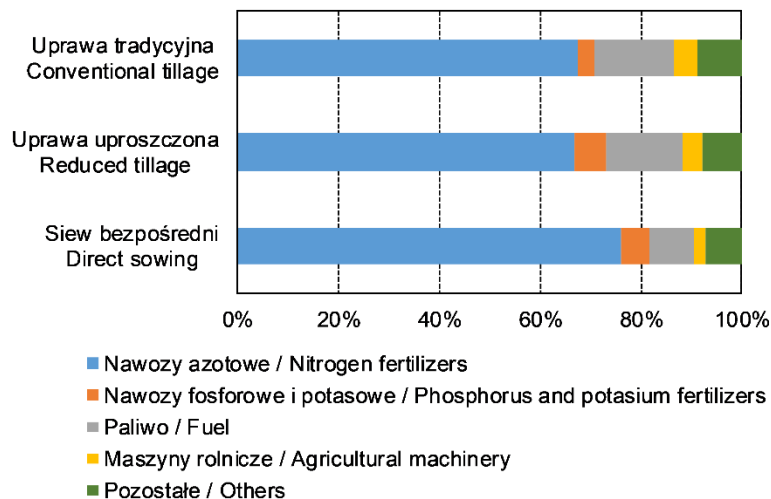
w uprawie uproszczonej o 31,8% (1851,9 kg CO₂ ekw. ha⁻¹), a w siewie bezpośrednim o 18,9% (2131,5 kg CO₂ ekw. ha⁻¹) (rys. 2). Należy dodać, że było to związane z zagospodarowaniem plonu ubocznego i uprawą roślin poplonowych w badanych systemach uprawy. W przypadku uprawy tradycyjnej całość słomy zbierano z pól, a uprawa poplonów stanowiła 14,2% powierzchni. Natomiast w uprawie uproszczonej i siewie bezpośrednim słomę zbierano odpowiednio z 60 i 63% powierzchni uprawy pszenicy. Ponadto w systemie uprawy uproszczonej poplony zajmowały 21,5% powierzchni. Pozostawianie dużej ilości resztek poźniwnych na polach w systemach uprawy uproszczonej i siewu bezpośredniego przyczyniało się do zapobiegania stratom C i jego akumulacji w glebie. W badaniach produkcji pszenicy w Polsce sekwestracja C w uprawie bezorkowej wynosiła od 1,93 do 2,72 t C ha⁻¹ [Jarosz i Faber 2015]. Znaczenie procesu sekwestracji C w ograniczaniu emisji GHG jest akcentowane w literaturze [West i Marland 2002].



Rys. 3. Procentowa redukcja emisji GHG w produkcji pszenicy w wybranych wariantach systemów stosowanych w grupie badanych gospodarstw: 1 – uprawa tradycyjna ze zbiorem słomy i poplonem na przyoranie, 2 – uprawa uproszczona z pozostawieniem słomy na polu, 3 – uprawa uproszczona z pozostawieniem słomy na polu i poplonem, 4 – siew bezpośredni z pozostawieniem słomy na polu
 Fig. 3. Percentage reduction of GHG emissions from the wheat production in the selected variants of systems in the group of studied farms: 1 – traditional tillage with straw harvesting and cultivation of catch crops for green manure, 2 – reduced tillage with leaving straw on the field, 3 – reduced tillage with leaving straw on the field and cultivation of catch crops, 4 – direct sowing with leaving straw on the field

Rysunek 3 przedstawia możliwości ograniczania GWP w produkcji pszenicy w różnych systemach uprawy poprzez zastosowanie szeregu praktyk sprzyjających retencjonowaniu C w glebie. Największy potencjał redukcji emisji GHG (o 58,5%) osiągnięto w przypadku stosowania uprawy uproszczonej, bez zbioru słomy z pól po pszenicy i z poplonami na całej powierzchni uprawy tej rośliny (wariant 3.). W tym samym systemie uprawy roli, w wariantcie 2., bez poplonów, pozostawianie słomy na polu pozwoliło zmniejszyć emisje o 19,3%. Duże ograniczenie emisji (o 42,2%) odnotowano także dla uprawy pszenicy w siewie bezpośrednim z pozostawianiem całości słomy na polu (wariant 4.). Mniejszą redukcję wielkości GWP (o 6,9%) stwierdzono w orkowym systemie ze zbiorem słomy i uprawą poplonów (wariant 1.).

Największym źródłem emisji GHG w cyklu życia produkcji pszenicy były nawozy azotowe (rys. 4). W całkowitej wielkości GWP emisje z produkcji i stosowania nawozów azotowych stanowiły od 66,7% dla systemu uprawy uproszczonej do 75,9% dla siewu bezpośredniego. Stosunkowo duży udział w kształtowaniu GWP w badanych systemach uprawy roli miało też zużycie paliwa (od 9,0% dla siewu bezpośredniego do 15,0% dla uprawy tradycyjnej). Decydujący wpływ tych czynników na emisje GHG w produkcji pszenicy potwierdzają również inne badania [Syp i in. 2015, Mancuso i in. 2019].



Rys. 4. Udział różnych źródeł emisji GHG, związanych z wytworzeniem i zużyciem środków produkcji w kształtowaniu wskaźnika GWP dla pszenicy ozimej w badanych systemach uprawy roli
 Fig. 4. Share of different GHG emission sources related to the production and consumption of means in shaping the GWP index for winter wheat in the studied soil tillage systems

PODSUMOWANIE

Wobec problemu zmian klimatycznych i wymagań polityki UE w zakresie dążenia do stopniowej dekarbonizacji produkcji potrzebne jest wdrażanie do praktyki rolniczej rozwiązań ograniczających emisje GHG. Ważną rolę w bilansowaniu emisji GHG z rolnictwa ma zarządzanie procesami uprawy dla zwiększania sekwestracji C w glebie. Przeprowadzone badania wykazały, że stosowanie uprawy uproszczonej lub siewu bezpośredniego z pozostawianiem dużej ilości resztek poźniwnych na polu znacząco przyczynia się do redukcji emisji GHG w produkcji pszenicy. W kształtowaniu niskoemisyjnych technologii należy brać pod uwagę szczególnie zagrożenia wynikające ze stosowania nawozów azotowych. Dla zmniejszenia emisji z pól i jednocześnie ograniczenia zużycia surowców w produkcji nawozów ważna jest optymalizacja nawożenia, uwzględniająca ograniczenia przyrodnicze, warunki glebowe oraz poziom produktywności upraw.

PIŚMIENNICTWO

- Bank Danych Lokalnych, 2020. <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/dane/podgrup/temat> [dostęp: 10.03.2020].
- Bednarek W., Tkaczyk P., Dresler S., 2009. Yields of winter wheat in dependence on some soil properties and agricultural measures. *Acta Agrophys.* 14(2), 263–272.

- Brentrup F., Küsters J., Kuhlmann H., Lammel J., 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *Europ. J. Agron.* 20(3), 247–264. [https://doi.org/10.1016/s1161-0301\(03\)00024-8](https://doi.org/10.1016/s1161-0301(03)00024-8)
- Caffrey K.R., Veal M.V., 2013. Conducting an agricultural life cycle assessment: challenges and perspectives. *Sci. World J.*, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2013/472431>
- Charles R., Jolliet O., Gaillard G., Pellet D., 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 113(1–4), 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.014>
- Ecoinvent database 3.0, 2019. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- EEA, 2013. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- EEA, 2016. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Council Conclusions 2014. 2030 Climate and Energy Policy Framework. Conclusions. 23/24 October 2014, EUCO 169/14, http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/145397.pdf [dostęp: 10.03.2020].
- Faber A., Jarosz Z., Król A., 2019. Wpływ zmian klimatu na efektywność wykorzystywania azotu oraz jego straty. *Zesz. Nauk. SGGW Probl. Rol. Świat.* 19(34), 37–46. <https://doi.org/10.22630/PRS.2019.19.1.3>
- Głodowska M., Gałązka A., 2018. Intensyfikacja rolnictwa a środowisko naturalne. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 592, 3–13. <http://doi.org/10.22630/ZPPNR.2018.592.1>
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., Koning A. de, Oers L. van, Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., Bruijn H. de, Duin R. van, Huijbregts M.A.J., 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- GUS, 2019. Użytkowanie gruntów i powierzchnia zasiewów w 2018 roku. Warszawa.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama.
- Jankowiak J., Małecka I., 2008. Uproszczenia uprawowe w zrównoważonym rozwoju rolnictwa. W: J.S. Zegar (red.), *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym* 102(6). IERiGŻ-PIB, Warszawa, 87–113.
- Jarosz Z., Faber A., 2015. Możliwości ograniczenia emisji rolniczych z uprawy pszenicy przeznaczonej na cele paliwowe. *Probl. Inż. Roln.* 2(88), 75–83.
- Kundzewicz Z., 2011. Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje. *Landform Analysis* 15, 39–49.
- Mancuso T., Verduna T., Blanc S., Di Vita G., Brun F., 2019. Environmental sustainability and economic matters of commercial types of common wheat. *Agric. Econ. – Czech* 65(4), 194–202. <https://doi.org/10.17221/172/2018-AGRICECON>
- Moudrý J. Jr., Jelínková Z., Jarešová M., Plch R., Moudrý J., Konvalina P., 2013. Assessing greenhouse gas emissions from potato production and processing in the Czech Republic. *Outlook Agric.* 42(3), 179–183. <https://doi.org/10.5367/oa.2013.0138>
- Pawlak J., 2017. Poziom i struktura emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie. *Probl. Inż. Roln.* 4(98), 55–63.
- Petersen B., Knudsen M., Hermansen J., Halberg N., 2013. An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. *J. Clean. Prod.* 52, 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.007>
- PN-EN ISO 14040:2009. Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura. PKN, Warszawa.

- Rachoń L., Kawczyńska M., 2018. Changes in the structure of sowing area, yields and harvests of cereal crops in Poland in the years 1965–2015. *Agron. Sci.* 73(4), 5–13, <http://dx.doi.org/10.24326/asx.2018.4.1>
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2018/842 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie wiążących rocznych redukcji emisji gazów cieplarnianych przez państwa członkowskie od 2021 r. do 2030 r. przyczyniających się do działań na rzecz klimatu w celu wywiązania się z zobowiązań wynikających z Porozumienia paryskiego oraz zmieniające rozporządzenie (UE) nr 525/2013 (Dz.U. L 156 z 19.6.2018).
- Sulewski P., 2017. Wybrane problemy środowiska naturalnego i trwałe rolnictwo w percepcji rolników. *Rocz. Nauk. SERiA* 19(4), 195–200.
- Syp A., Faber A., Borzęcka-Walker M., Osuch D., 2015. Assessment of greenhouse gas emissions in winter wheat farms using data envelopment analysis approach. *Pol. J. Environ. Stud.* 24(5), 2197–2203. <https://doi.org/10.15244/pjoes/39682>
- Święcicki W.K., Surma M., Kozłowska W., Skrzypczak G., Szukala J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K., 2011. Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej – przyjazne dla człowieka i środowiska. *Pol. J. Agron.* 7, 102–112.
- West T.O., Marland G., 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agric. Ecosyst. Environ.* 91, 217–232. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00233-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00233-X)
- Wójcik-Gront E., Bloch-Michalik M., 2016. Assessment of greenhouse gas emission from life cycle of basic cereals production in Poland. *Zemdirbyste* 103, 259–266. <https://doi.org/10.13080/z-a.2016.103.033>

Źródło finansowania badań: Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego o nr 2015/19/N/HS4/03031 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Summary. The aim of the study was to assess the greenhouse gas emissions from life cycle of winter wheat production in different soil tillage systems. Material for the analyses consisted of data collected from 15 selected farms located in the Wielkopolska voivodeship with cultivation of winter wheat in different soil tillage systems (traditional, reduced and direct sowing) in the years 2015–2017. The research was carried out using the life cycle assessment (LCA) method in the scope “from cradle-to-farm gate”, i.e. from the acquisition of raw materials and production of agricultural production means through wheat cultivation processes to grain harvesting. The calculated global warming potential index considering the soil organic carbon sequestration potential for the wheat production in traditional tillage, reduced tillage and direct sowing systems, amounted to 2339.7 kg CO₂ eq. ha⁻¹, 1851.9 kg CO₂ eq. ha⁻¹ and 2131.5 kg CO₂ eq. ha⁻¹, respectively. Nitrogen fertilizers were the largest source of greenhouse gas emissions. Ploughless tillage together with cultivation of catch crops and leaving large amounts of crop residues in the field has led to higher soil organic carbon sequestration potential that contributed to lowering of global warming potential for wheat production.

Key words: agricultural emissions, winter wheat, soil tillage, life cycle assessment, global warming potential, organic carbon sequestration

Otrzymano – Received: 7.04.2020
Zaakceptowano – Accepted: 4.08.2020