

Zuzanna Jarosz, Antoni Faber

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

WIELKOŚĆ EMISJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH W ZALEŻNOŚCI OD SYSTEMU UPRAWY*

Słowa kluczowe: symulacje, system uprawy, emisja, gazy cieplarniane, globalny potencjał ocieplenia

Wstęp

W perspektywie długoterminowej, już w październiku 2014 r. Rada Europy zatwierdziła porozumienie w sprawie ram polityki klimatycznej do 2030 r. (Pakiet klimatyczno-energetyczny 2030). Podstawowym celem była redukcja emisji gazów cieplarnianych (GHG) w Unii Europejskiej o co najmniej 40% w porównaniu z rokiem 1990. Nieco mniejsze wymagania określono dla sektorów (w tym rolnictwa) nieobjętych systemem handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (non-ETS). Zdecydowano, że w tym obszarze emisja GHG w całej UE zostanie zredukowana o 30% w stosunku do roku 2005, a w przypadku Polski ograniczenie to powinno wynosić 7% (1).

W październiku 2018 r. Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu – IPCC (ang. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) opublikował specjalny raport, w którym wskazano konieczność podjęcia bardziej radykalnych działań związanych z ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych i zmianami klimatu (8). Stwierdzono, że utrzymanie wzrostu średniej temperatury powietrza poniżej 2°C, jak przyjęto w porozumieniu paryskim, może być niewystarczające. Otwarto nowe pole do dyskusji nad tworzeniem ram polityki klimatycznej do 2030 r. i sposobem realizacji wyznaczonych celów.

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 8.0 pt. „Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2022 r..

Nowym impulsem do opracowywania strategii w zakresie przeciwdziałania zmianom klimatu było zainicjowanie Europejskiego Zielonego Ładu (11). W grudniu 2020 r. osiągnięto porozumienie w sprawie prawa klimatycznego (element Zielonego Ładu) i zatwierdzono, że do 2030 r. emisje netto gazów cieplarnianych w UE zostaną ograniczone o co najmniej 55% w porównaniu z rokiem 1990. Realizacja tych zobowiązań pozwoli na osiągnięcie przez UE neutralności klimatycznej do 2050 r. Natomiast państwa członkowskie zobligowane są do opracowania własnej ścieżki dochodzenia do wyznaczonego celu. Jednocześnie UE uznała, że należy wprowadzić odpowiednie zachęty i wsparcie, aby transformacja klimatyczna była racjonalna kosztowo i uwzględniała różną sytuację poszczególnych krajów.

Polska jako strona Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu ma obowiązek raportowania wielkości emisji gazów cieplarnianych. W naszym kraju jednostką wykonującą inwentaryzację gazów cieplarnianych, obliczanie wartości emisji, dobór i rozwój metodyki zgodny z wytycznymi, wybór aktywności będących źródłem emisji oraz określanie współczynników jest Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE). W inwentaryzacji i szacowaniu emisji gazów cieplarnianych wykorzystywana jest metodyka opracowana przez IPCC, opisana w dokumencie Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (6) oraz zaktualizowana w 2019 r. (9). Zgodnie z zaproponowaną metodyką szacunki można wykonywać na różnym poziomie szczegółowości (poziom 1, 2 i 3), a za najbardziej szczegółową uważa się metodę 3 – zastosowanie modeli.

W ostatnich latach liczne badania wskazały na możliwości ograniczania emisji GHG, a tym samym łagodzenia zmian klimatu. Z jednej strony podejmowane są działania koncentrujące się na zrównoważonym gospodarowaniu gruntami rolnymi i leśnymi, z drugiej zaś ukierunkowane na redukcję emisji w gospodarstwach rolnych (modernizacja gospodarstw, redukcja emisji metanu z odchodów zwierzęcych) oraz na prowadzenie gospodarki rolnej w sposób przyjazny dla środowiska (wzrost liczby gospodarstw ekologicznych i powierzchni uprawianej tymi metodami, ochrona wód przed zanieczyszczeniem azotanami pochodzenia rolniczego). W produkcji roślinnej ograniczenie emisji gazów cieplarnianych można uzyskać, stosując na gruntach ornych poprawną gospodarkę nawozową, uprawę konserwującą (eliminującą częściowo lub całkowicie orkę) oraz przyorywanie nawozów organicznych lub ich substytutów: słomy, pozostałych resztek poźniwnych i nawozów zielonych, które prowadzą do zwiększenia udziału próchnicy i większej sekwestracji węgla w glebie. W efekcie ograniczenia mineralizacji substancji organicznej praktyki te przeciwdziałają emisji CO₂ z gleby i ograniczają emisję GHG (17, 18). Jednak wdrażanie tych praktyk nadal dla wielu gospodarstw rolnych stanowi duże wyzwanie.

Tradycyjną uprawą stosowaną w produkcji rolniczej w Polsce jest uprawa płużna, ale jest też ona energo- i pracochłonnym elementem agrotechniki. Ponadto, jak podkreśla Smagacz (18), płużny system uprawy roli prowadzi do wielu negatywnych

zmian w środowisku glebowym: przyspiesza proces mineralizacji próchnicy, pogarsza strukturę gleby i jej pojemność wodną, a w efekcie może prowadzić do degradacji gleby. Dlatego też, w coraz większym stopniu rekomenduje się stosowanie takich technik bezpłużnej uprawy roli (tzw. konserwującej), które wpływają korzystnie na środowisko glebowe. Do takich systemów należy uprawa uproszczona, która polega na ograniczeniu głębokości uprawy i zmniejszeniu intensywności zabiegów oraz pozostawianiu resztek poźniwnych na powierzchni gleby. Innym rodzajem uprawy konserwującej jest uprawa bezorkowa polegająca na wykonaniu siewu bezpośredniego specjalnym siewnikiem. Proponowane systemy uprawy ograniczają erozję wodną i wietrzną gleby, zwiększają zawartość próchnicy, a przede wszystkim ograniczają koszty prac polowych. Powodują także zmiany struktury kosztów produkcji (18).

Celem opracowania było oszacowanie emisji gazów cieplarnianych dla różnych systemów uprawy oraz określenie, na ile są one przyjazne dla klimatu.

Material i metodyka badań

W badaniach wykorzystano model DNDC (Denitrification-Decomposition) (5). Model był używany do symulacji przemian węgla i azotu na poziomie europejskim (12). Skalibrowany i zweryfikowany do warunków Polski model stosowano również do symulacji bilansów węgla, azotu i wody, emisji CH_4 i N_2O , sekwestracji węgla organicznego w glebach pod uprawami rolniczymi oraz do modelowania emisji podtlenku azotu i amoniaku w skali regionalnej (2, 3, 10).

Symulacje wykonano dla 136 kwadratów (50×50 km) obejmujących całą Polskę. Do przeprowadzenia symulacji niezbędne są codzienne dane meteorologiczne: temperatura minimalna i maksymalna oraz opad. Wymagane przez model DNDC informacje dotyczące właściwości fizykochemicznych gleb (zawartość iłu koloidalnego, ciężar objętościowy, odczyn, zawartości węgla) pochodziły z baz danych IUNG-PIB. W symulacjach wykorzystano także dane charakteryzujące agrotechnikę (zmianowanie roślin, terminy, rodzaje oraz głębokości wykonywanych zabiegów uprawowych, dawki i terminy stosowania nawozów mineralnych i naturalnych, ilości pozostawianych na polu resztek poźniwnych) (15). Symulacje prowadzono dla zmianowania roślin: rzepak ozimy – pszenica ozima – pszenica ozima – pszenżyto ozime i dla czterech wariantów uprawy:

- płużnej (pełnej) ze zbiorem całej ilości resztek poźniwnych (U1),
- płużnej i przyorywanie całej ilości resztek poźniwnych (U2),
- uproszczonej i pozostawianie całej ilości resztek poźniwnych na polu (U3),
- bezorkowej i pozostawianie całej ilości resztek poźniwnych na polu (U4).

Obliczone drogą symulacji sekwestracje (wartości ujemne) lub straty węgla (wartości dodatnie) przeliczono na kg CO_2 . Emisje podtlenku azotu przeliczono na $\text{kg N}_2\text{O}$,

zaś metanu na kg CH₄. W obliczeniach zastosowano ogólnie przyjęte przeliczniki uwzględniające masy atomowe pierwiastków i masy cząsteczkowe związków:

- $\text{kg C} \times 3,664 = 3,664 \text{ kg CO}_2$,
- $\text{kg N-N}_2\text{O} \times 1,561 = 1,561 \text{ kg N}_2\text{O}$,
- $\text{kg C-CH}_4 \times 1,336 = 1,336 \text{ kg CH}_4$.

Tak otrzymane emisje gazów cieplarnianych (w $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$) mnożono przez współczynniki globalnego ocieplenia, które wynoszą odpowiednio: CO₂ – 1; CH₄ – 25 i N₂O – 298 (7). W ten sposób obliczono emisje gazów cieplarnianych wyrażone w kg ekw. CO₂·ha⁻¹·r⁻¹, które po zsumowaniu dawały wartość GWP₁₀₀. GWP netto obliczano, odejmując od GWP wariantów z poprawioną agrotechniką (U2–U4) wartość GWP dla uprawy płuźnej ze zbiorem słomy (U1).

Wyniki z symulacji (emisje bezpośrednie podtlenku azotu, emisje amoniaku, wymycia azotu, sekwestracje węgla, emisje metanu) zestawiono jako średnie lub mediany (gdy wartości parametrów nie miały rozkładu normalnego) dla poszczególnych województw i kraju.

Wyniki badań

Rolnictwo jest nie tylko emitentem gazów cieplarnianych. Pewne ilości dwutlenku węgla absorbowane są w biomase roślinnej. Ponadto produkcja rolnicza przyczynia się do akumulacji węgla w postaci substancji organicznej. Skutecznym sposobem ograniczenia emisji gazów cieplarnianych jest zwiększenie sekwestracji węgla organicznego w glebie (16, 19). Dostarczanie większej ilości resztek poźniwnych zwiększa sekwestrację węgla i prowadzi do wzrostu zasobności gleb w materię organiczną. Ocena pochłaniania węgla dla różnych systemów uprawy i sposobów zagospodarowania resztek poźniwnych wykazała, że w systemie uprawy płuźnej ze zbiorem słomy sekwestracje zachodziły w 11 województwach, a ilości pochłanianego węgla wahały się w zakresie od –19 do –513 kg ekw. CO₂·ha⁻¹·r⁻¹, przy medianie dla Polski wynoszącej –143 kg ekw. CO₂·ha⁻¹·r⁻¹ (tab. 1). W pozostałych regionach odnotowano straty węgla, które z wyjątkiem województwa lubuskiego były jednak niewielkie. Zastosowanie uprawy płuźnej z przyoraniem słomy prowadziło do sekwestracji węgla w glebie w ilościach od –1766 do –2385 kg ekw. CO₂·ha⁻¹·r⁻¹. Mediana sekwestracji dla tego systemu uprawy wynosiła –1962 kg ekw. CO₂·ha⁻¹·r⁻¹. Na podobnym poziomie kształtowała się sekwestracja węgla dla systemu uproszczonego z pozostawieniem słomy na polu (tab. 1). Poprawa agrotechniki polegająca na zastosowaniu siewu bezpośredniego z pozostawieniem całej ilości resztek poźniwnych na polu pozwala uzyskać największe sekwestracje węgla przy medianie dla Polski wynoszącej –9139 kg ekw. CO₂·ha⁻¹·r⁻¹.

Tabela 1

Sekwestracje węgla w zależności od systemu uprawy
i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO₂ · ha⁻¹ · r⁻¹)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	61	-1771	-1742	-8629
Kujawsko-pomorskie	-326	-2011	-2001	-8529
Lubelskie	-306	-2087	-2103	-9405
Lubuskie	267	-1647	-1499	-8168
Łódzkie	-331	-2134	-2136	-9019
Małopolskie	-101	-1933	-1944	-9517
Mazowieckie	-291	-1999	-1994	-8881
Opolskie	-189	-2024	-2006	-8846
Podkarpackie	2	-1766	-1862	-9746
Podlaskie	-513	-2385	-2455	-9630
Pomorskie	8	-1932	-1895	-9556
Śląskie	36	-1885	-1880	-9590
Świętokrzyskie	-303	-2020	-2017	-9216
Warmińsko-mazurskie	-113	-2014	-2051	-9880
Wielkopolskie	-162	-1880	-1884	-8586
Zachodniopomorskie	-19	-1901	-1910	-9019
Polska	-143	-1962	-1961	-9139

*U1 – uprawa płużna ze zbiorem resztek poźniwnych, U2 – uprawa płużna z przyoraniem całej słomy, U3 – uprawa uproszczona z pozostawieniem całej słomy, U4 – uprawa bezorkowa (siew bezpośredni) z pozostawieniem całej słomy

Źródło: opracowanie własne

Wielkość emisji N₂O zależy od dawki, wykorzystania i przemian azotu. Wniesienie do gleby lub pozostawienie na powierzchni pola znacznych ilości słomy powoduje uwalnianie wskutek mineralizacji dodatkowych ilości azotu. Niewykorzystany przez rośliny azot ulega przemianom generującym jego straty na drodze utleniania, wymywania i spływów powierzchniowych. Wpływa to na zmiany w emisjach podtlenku azotu. Najmniejsze emisje N₂O stwierdzono w systemie uprawy płużnej ze zbiorem słomy z pola. Emisje te mieściły się w przedziale 71–442 kg ekw. CO₂ · ha⁻¹ · r⁻¹ (tab. 2). W systemie uprawy płużnej z przyoraniem słomy (U2) odnotowano wzrost emisji o 66,6% w stosunku do uprawy płużnej ze zbiorem resztek poźniwnych. Natomiast pozostawienie na polu całej ilości słomy w systemie uprawy uproszczonej (U3) i bezorkowej (U4) skutkowało wzrostem emisji N₂O odpowiednio: 56,4 i 26,9%. Niezależnie od systemu uprawy największe emisje stwierdzono w województwie lubuskim, zaś nieco mniejsze w dolnośląskim, tj. w regionach charakteryzujących

się większymi zasobami węgla organicznego w glebach (tab. 2). Emisje podtlenku azotu rosły statystycznie istotnie według szeregu: $U1 < U2 = U3 = U4$. Badania własne wykazały, że przyorywanie lub pozostawianie całej ilości słomy na polu z jednej strony zwiększa sekwestrację węgla w glebie, z drugiej zaś wniesienie ze słomą dodatkowej ilości azotu zwiększa emisję podtlenku azotu (2). Potwierdzają to także badania przeprowadzone przez Lesschena i in. (14).

Tabela 2

Emisje podtlenku azotu w zależności od systemu uprawy i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. $\text{CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	193	347	331	263
Kujawsko-pomorskie	162	275	249	216
Lubelskie	88	169	153	146
Lubuskie	442	610	650	324
Łódzkie	157	234	220	194
Małopolskie	117	200	179	172
Mazowieckie	107	192	185	187
Opolskie	191	286	266	229
Podkarpackie	103	186	160	156
Podlaskie	71	126	121	120
Pomorskie	115	215	200	172
Śląskie	162	249	216	195
Świętokrzyskie	107	219	202	195
Warmińsko-mazurskie	94	171	155	146
Wielkopolskie	194	346	308	256
Zachodniopomorskie	192	342	306	201
Polska	156	260	244	198

*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

Emisje podtlenku azotu są emisjami bezpośrednimi. Natomiast emisje pośrednie N_2O zależą od emisji amoniaku oraz strat azotu spowodowanych wymywaniem (spływy powierzchniowe różnych związków zawierających azot, wymywanie azotanów). Nie stwierdzono istotnych różnic emisji amoniaku w poszczególnych systemach uprawy (tab. 3). Oszacowane emisje NH_3 były nieco mniejsze (U4) lub nieznacznie większe (U2) w porównaniu z uprawą płużną ze zbiorem resztek poźniwnych. Tak małe wahania w wielkości emisji nie będą miały istotnego wpływu na potencjał globalnego ocieplenia. Podobne wyniki w swoich badaniach uzyskali Leip i in. (13).

Tabela 3

Emisje amoniaku w zależności od systemu uprawy
i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO₂ · ha⁻¹ · r⁻¹)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	10	10	10	9
Kujawsko-pomorskie	24	27	25	20
Lubelskie	12	14	13	12
Lubuskie	9	8	7	8
Łódzkie	9	10	9	8
Małopolskie	12	13	13	12
Mazowieckie	11	12	12	10
Opolskie	13	13	12	11
Podkarpackie	13	14	14	13
Podlaskie	9	10	10	9
Pomorskie	14	14	11	12
Śląskie	13	13	13	12
Świętokrzyskie	12	14	13	11
Warmińsko-mazurskie	13	14	13	12
Wielkopolskie	17	20	19	15
Zachodniopomorskie	18	20	19	15
Polska	13	14	13	12

*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

Istotne znaczenie dla ograniczenia strat azotu ma poprawna gospodarka nawozowa. Niedostosowanie dawek mineralnych nawozów azotowych do potrzeb pokarmowych roślin prowadzi do strat azotu w postaci azotanów. W porównaniu z uprawą płużną ze zbiorem resztek poźniwnych (U1) najmniejsze wymycia azotanów wystąpiły w uprawie bezorkowej z pozostawieniem całej ilości resztek poźniwnych na polu (tab. 4). Większe wymycia azotu stwierdzono w uprawie płużnej z przyoraniem słomy i uproszczonej z pozostawieniem resztek poźniwnych na polu. Uzyskane wyniki wskazują, że oba systemy uprawy stwarzają większe ryzyko wymywania azotanów. Dlatego też na obszarach szczególnie narażonych na zanieczyszczenia wód azotanami powinny być stosowane z dużą ostrożnością.

Tabela 4

Emisje z wymycia azotu w zależności od systemu uprawy i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO₂ · ha⁻¹ · r⁻¹)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	38	54	57	46
Kujawsko-pomorskie	37	49	50	42
Lubelskie	37	53	47	44
Lubuskie	32	53	56	30
Łódzkie	37	49	53	42
Małopolskie	37	52	51	46
Mazowieckie	32	45	44	39
Opolskie	35	45	48	40
Podkarpackie	48	61	66	58
Podlaskie	38	54	54	46
Pomorskie	26	39	34	35
Śląskie	35	48	49	39
Świętokrzyskie	31	50	43	39
Warmińsko-mazurskie	33	45	45	40
Wielkopolskie	25	38	38	32
Zachodniopomorskie	29	43	42	32
Polska	34	49	49	41

*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

Metan we wszystkich systemach uprawy był sekwestrowany (wartości ujemne) (tab. 5). Gleby dobrze natlenione absorbują metan i zmniejszają jego uwalnianie do atmosfery. Istotne są także stosunki powietrzno-wodne gleb. Wzrost opadów i duże nawodnienie gleby ogranicza występowanie bakterii metanotropowych pochłaniających metan i zmniejsza absorpcję metanu. Według Freibauer i Kaltschmitta (4) gleby mineralne użytkowane jako grunty orne pochłaniają metan w ilości 0,5–2,0 kg · ha⁻¹ · r⁻¹.

Tabela 5

Emisja metanu w zależności od systemu uprawy i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO₂ · ha⁻¹ · r⁻¹)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	-22	-24	-24	-29
Kujawsko-pomorskie	-17	-19	-15	-25
Lubelskie	-13	-11	-15	-22
Lubuskie	-28	-28	-30	-35
Łódzkie	-18	-20	-13	-26
Małopolskie	-17	-18	-17	-24
Mazowieckie	-14	-17	-17	-22
Opolskie	-18	-20	-20	-26
Podkarpackie	-17	-19	-19	-24
Podlaskie	-13	-16	-16	-22
Pomorskie	-19	-9	-17	-25
Śląskie	-20	-22	-20	-27
Świętokrzyskie	-13	-21	-15	-22
Warmińsko-mazurskie	-16	-18	-19	-24
Wielkopolskie	-19	-21	-9	-27
Zachodniopomorskie	-22	-24	-23	-29
Polska	-18	-19	-18	-26

*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

W systemie uprawy płużnej ze zbiorem resztek poźniwnych tylko w 6 województwach obliczone wielkości GWP miały wartość ujemną (tab. 6). W rejonach tych tradycyjna uprawa nie przyczyniała się więc do wzmoczenia zmian klimatu. W 10 regionach potencjał globalnego ocieplenia był dodatni. Niskie wartości sekwestracji węgla nie równoważyły emisji bezpośredniej N₂O i emisji pośrednich (NH₃, wymywania), a prowadzona tam produkcja roślinna nasilała zmiany klimatu. Natomiast produkcja roślinna prowadzona według pozostałych systemów uprawy (U2–U4) będzie miała mniejszy wpływ na zmiany klimatu, a surowce będą produkowane z większym ograniczeniem gazów cieplarnianych.

Tabela 6

GWP w zależności od systemu uprawy i gospodarki resztkami poźniwnymi (kg ekw. CO₂·ha⁻¹·r⁻¹)

Województwo	System uprawy			
	U1*	U2	U3	U4
Dolnośląskie	280	-1384	-1368	-8340
Kujawsko-pomorskie	-120	-1679	-1692	-8276
Lubelskie	-182	-1862	-1905	-9225
Lubuskie	722	-1004	-816	-7841
Łódzkie	-146	-1861	-1867	-8801
Małopolskie	48	-1686	-1718	-9311
Mazowieckie	-155	-1767	-1770	-8667
Opolskie	32	-1700	-1700	-8592
Podkarpackie	149	-1524	-1641	-9543
Podlaskie	-408	-2211	-2286	-9477
Pomorskie	144	-1673	-1667	-9362
Śląskie	226	-1597	-1622	-9371
Świętokrzyskie	-166	-1755	-1774	-8993
Warmińsko-mazurskie	12	-1801	-1856	-9705
Wielkopolskie	55	-1497	-1528	-8310
Zachodniopomorskie	198	-1520	-1566	-8800
Polska	43	-1658	-1674	-8913

*warianty jak w tabeli 1

Źródło: opracowanie własne

Wartości GWP netto dla uprawy płuźnej z przyoraniem słomy, uprawy uproszczonej z pozostawieniem całej słomy na polu oraz uprawy bezorkowej wynosiły odpowiednio: -1701, -1717 i -8956 kg ekw. CO₂·ha⁻¹·r⁻¹. Należy jednak zwrócić uwagę na niewielką różnicę GWP netto dla systemu uprawy płuźnej z przyoraniem słomy i uprawy uproszczonej ze zbiorem resztek poźniwnych. Oznacza to, że nie zawsze uprawa uproszczona będzie dawała lepsze efekty niż płuźna. Z pewnością istotne znaczenie ma ilość pozostawianych na polu resztek poźniwnych.

Podsumowanie

O wielkości globalnego potencjału ocieplenia (GWP₁₀₀) w produkcji roślinnej decydują głównie procesy nityfikacji i denityfikacji oraz reprodukcji i degradacji glebowej materii organicznej, które są procesami biologicznymi. Ich przebieg, zależny od dostępności węgla i azotu, właściwości fizykochemicznych gleb, aktywności mikroorganizmów glebowych i klimatu, określa wielkość emisji CO₂, N₂O, CH₄ i w konsekwencji determinuje wielkość GWP.

Jednym ze sposobów ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (GHG) może być stosowanie praktyk zwiększających sekwestrację węgla organicznego w glebach. Praktyki te polegają na wprowadzaniu tzw. uprawy konserwującej z jednoczesnym pozostawianiem na polu wszystkich resztek poźniwnych. Dodanie do gleby większych ilości substancji organicznej w postaci resztek poźniwnych zwiększa sekwestrację węgla, ale wpływa też na wzrost emisji podtlenku azotu. Produkcja roślinna prowadzona w rejonach, w których sekwestracja węgla kompensuje emisję podtlenku azotu nie przyczynia się do zmian klimatu.

Literatura

1. European Commission, 2016: Proposal for an Effort Sharing Regulation 2021–2030. https://ec.europa.eu/clima/policies/effort/regulation_en.
2. Faber A., Jarosz Z.: Modelowanie emisji podtlenku azotu i amoniaku w skali regionalnej oraz w Polsce. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Problemy Rolnictwa Światowego, 2018a, 18 (XXXIII), 2: 70-81.
3. Faber A., Jarosz Z.: Modelowanie bilansu węgla organicznego w glebie oraz emisji gazów cieplarnianych w skali regionalnej oraz w Polsce. Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Problemy Rolnictwa Światowego, 2018b, 18 (XXXIII), 3: 102-112.
4. Freibauer A., Kaltschmitt M. (eds.): Emission rates and emission factors of greenhouse gas fluxes from arable and animal agriculture. European Summary Report of the EU Concerted Action "Biogenic Emissions of Greenhouse Gases Caused by Arable and Animal Agriculture" (FAIR3-CT96-1877), Project Report Task 1. University of Stuttgart, Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy, April 2000.
5. Giltrap D.L., Li C., Sagar S.: DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soil. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2010, 136: 292-300.
6. IPCC: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. A report prepared by the Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI) of the IPCC. 2006, Hayama, Japan: IGES.
7. IPCC: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. 2. 10. 2 Direct Global Warming Potentials.
8. IPCC, 2018: Global Warming of 1,5 °C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
9. IPCC, 2019: <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>.
10. Jarosz Z., Faber A.: Analiza przestrzennego zróżnicowania emisji podtlenku azotu z gruntów ornych w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2017, 52(6): 57-68.
11. Komisja Europejska: Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Europejski Zielony Ład. COM(2019) 640 final, 2019.
12. Leip A., Marchi G., Koehler K., Kempen M., Britz W., Li C.: Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe. Biogeoscience, 2008, 5: 73-94.
13. Leip A., Achermann B., Billen G., Bleeker A., Bouwman A. F., de Vries W., Dragosits U., Döring U., Fernald D., Geupel M., Heldstab J., Johnes P., Le Gall A.C., Monni S., Nevečeřal R., Orlandini L., Prud'homme M., Reuter H.I., Simpson D., Seufert G., Spranger T., Sutton M.A., van Aardenne J., Voß M., Winz W.: Chapter 16. Integrating nitrogen fluxes at the European scale. In: The European Nitrogen Assessment, Sutton et al. (ed.). Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge University Press, 2011, pp. 345-376.

14. Lesschen J.P., Velthof G.L., de Vries W., Kros J.: Differentiation of nitrous oxide emission factors for agricultural soils. *Environmental Pollution*, 2011, 159: 3215-3222.
15. Li C.: Quantifying greenhouse gas emissions from soils: Scientific basis and modeling approach. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53: 344-352.
16. Lugato E., Leip A., Jones A.: Mitigation potential of soil carbon management overestimated by neglecting N₂O emissions. *Nature Climate Change*, 2018, 8: 219-223.
17. Rutkowska B., Sulc W., Szara E., Skowrońska M., Jadczyzyn T.: Soil N₂O emission under conventional and reduced tillage methods and maize cultivation. *Plant Soil Environmental*, 2017, 63(8): 342-347.
18. Smańczak J.: Konsekwencje organizacyjne i środowiskowe różnych systemów uprawy roli. *Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy 2016*, 47(1): 139-153.
19. Wiśniewski P., Kistowski M.: Agriculture and rural areas in the local planning of low carbon economy in light of the idea of sustainable development – results from a case study in north-central Poland. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2017, 26(8): 4927-4935.

Adres do korespondencji:

dr Zuzanna Jarosz; prof. dr hab. Antoni Faber
Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: 81 47 86 766; 81 47 86 767
e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl; faber@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Zuzanna Jarosz	0000-0002-3428-5804
Antoni Faber	0000-0002-3055-1968