

Alina Syp, Antoni Faber

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach

PORÓWNANIE EMISJI N₂O Z UPRAWY PSZENICY OZIMEJ W POLSCE PRZY WYKORZYSTANIU METODOLOGII IPCC (TIER 1) I MODELU DNDC

COMPARISON OF N₂O EMISSIONS FROM WINTER WHEAT CULTIVATION IN POLAND APPLYING IPCC (TIER 1) METHOD AND DNDC MODEL

Słowa kluczowe: *denitrification-decomposition (DNDC) model, IPCC – Tier 1, gazy cieplarniane (GHG), emisja podtlenku azotu (N₂O), pszenica ozima*

Key words: *denitrification-decomposition (DNDC) model, IPCC – Tier 1, green gas emissions (GHG), nitrous oxide emission (N₂O), winter wheat*

JEL codes: Q58

Abstrakt. Celem badań było porównanie emisji podtlenku azotu (N₂O) z zastosowaniem metody IPCC – między pierwszym (Tier 1) i trzecim (Tier 3) poziomem. Symulacja na poziomie 3. została wykonana przy użyciu modelu *denitrification-decomposition* (DNDC). Przeprowadzone symulacje wykazały, że według metodyki Tier 1 średnia emisja N₂O dla Polski wynosiła 3,51 kg N/ha, a dla modelu DNDC – 1,86 kg N/ha. Według modelu DNDC emisje N₂O symulowane dla całego terytorium Polski stanowią 54% emisji liczonych według metodyki Tier 1. Otrzymane wyniki wskazują, że zastosowanie modelu biogeochemicznego, który uwzględni warunki środowiska pozwala dokładniej oszacować emisję N₂O przy sporządzaniu raportów, zgodnie z przyjętymi zobowiązaniami dotyczącymi raportowania emisji gazów cieplarnianych (GHG).

Wstęp

Podtlenek azotu (N₂O) jest jednym z najważniejszych gazów cieplarnianych (GHG), o 298 większym potencjale ocieplenia niż dwutlenek węgla (CO₂) w 100-letnim okresie i średniej żywotności 120 lat [IPCC 2007]. W 2012 roku w Polsce emisja N₂O z gleb użytkowanych rolniczo wynosiła 65,5 Gg, co stanowiło 68,6% ogólnej emisji N₂O [Olecka i in. 2014]. Ilość stosowanych nawozów mineralnych jest głównym czynnikiem wpływającym na emisję N₂O [Syp, Faber 2012]. Wszystkie kraje ratyfikujące Konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC) są zobowiązane do inwentaryzacji emisji GHG. W raportach sporządzanych w każdym z tych krajów wymaga się uwzględnienia emisji N₂O z rolnictwa [Giltrap i in. 2013]. Wytyczne do obliczenia emisji GHG zostały opracowane przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu – IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) [IPCC 2006]. Przewodnik IPCC prezentuje metodykę szacowania emisji na 3 poziomach. Lokupitilya Erandathie i Keith Paustian [2006] oszacowali, że poziom 1 (Tier 1) stosuje 56% krajów, poziom 2 (Tier 2) – 26%, a poziom 3 (Tier 3) tylko 18%. Celem badań było porównanie wielkości emisji N₂O szacowaną metodą Tier 1 i 3 z uprawy pszenicy ozimej w Polsce.

Materiał i metodyka badań

Metoda Tier 1 zaleca szacownie emisji N₂O z gleby uwzględniając wszystkie możliwe źródła dopływu azotu (N) do gleby, tj. stosowanie nawozów mineralnych i organicznych, nawozów zielonych i resztek poźniwnych oraz osadów ściekowych. Obejmuje ona zarówno bezpośrednią, jak i pośrednią emisję z gleb uprawnych. Jest to najprostsza metoda oparta na wartości standardowej emisji. Emisja N₂O jest równa 1 ±1,0% stosowanego N, co oznacza, że 1% aplikowanego N jest emitowany w formie N₂O [IPCC 2006]. Metoda Tier 1 nie wymaga danych dotyczących powierzchni uprawy, rodzaju gleby, klimatu i stosowanych praktyk rolniczych (np. rodzaju nawozu, sposobu uprawy, nawodnienia).

IPCC rekomenduje natomiast stosowanie metody Tier 3, ponieważ uwzględnia ona regionalną zmienność warunków. W metodzie tej emisję N_2O szacuje się przy wykorzystaniu złożonych modeli deterministycznych, które symulują emisję na podstawie fizycznych, chemicznych i biologicznych procesów. Modele te mogą symulować zależności zachodzące między zmianami klimatu i stosowanymi praktykami rolniczymi. Występuje duże zapotrzebowanie na modele biogeochemiczne, ponieważ doświadczenia polowe są kosztowne i wymagają dużo czasu [Syp i in. 2011]. Jednym z najczęściej stosowanych modeli jest model DNDC (*denitrification decomposition*). W bazie WEB of Science 1.03.2016 roku znajdowało się 377 publikacji, które zostały sporządzone na podstawie analiz wykonanych przy użyciu tego modelu.

Model DNDC został opracowany do szacowania emisji N_2O z gleb uprawnych w USA [Li, Frolking 1992]. Szczegółowe dane na temat modyfikacji i adaptacji tego modelu prezentują Sarah Gilhespy i współautorzy [2014]. W analizach wykorzystano wersję 9,2 modelu DNDC [<http://www.dndc.sr.unh.edu>]. Model składa się z dwóch komponentów. Pierwszy z nich ocenia właściwości fizyczne i chemiczne gleby, wzrost roślin i mineralizację węgla. Drugi zaś symuluje emisję GHG na podstawie zachodzących procesów nityfikacji, denityfikacji i fermentacji. Podstawowe dane niezbędne do wykonania symulacji obejmują lokalizację, dane klimatyczne (dzienne temperatury i opady), właściwości gleby, gatunek rośliny uprawnej i stosowane praktyki rolnicze. W symulacjach wykorzystano dane meteorologiczne (maks. i min. dzienne temperatury, opady i nasłonecznienie) uzyskane z Joint Research Center (JRC). Dane te zostały zgromadzone w ramach Systemu Monitoringu Wzrostu Roślin – CGMS (*Crop Growth Monitoring Systems*) [JRC 2015, <http://ies-webarchive-ext.jrc.it/mars/mars/About-us/AGRI4CAST/Data-distribution/Meteorological-Interpolated-Data.html>], a następnie interpolowane do sieci kwadratów (rastra) o wymiarach 50 x 50 km. W interpolacji zachowano wymóg metodyczny, że co najmniej jedna stacja meteorologiczna musi przypadać na trzy sąsiednie kwadraty. Sieć 136 kwadratów pokryła całe terytorium Polski. Dla każdego z tych kwadratów pozyskano trzydziestoletnią serię danych meteorologicznych za okres 1975-2004. Badaniami objęto gleby ilaste żyzne. Dane charakteryzujące właściwości tego typu gleb (zawartość ilu koloidalnego, ciężar objętościowy, pH, zawartość glebowej materii organicznej w powierzchniowej warstwie) pochodziły z bazy danych Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego (IUNG-PIB). Model DNDC został skalibrowany według plonów roślin, ponieważ nie dysponowano danymi dotyczącymi emisji GHG. Do kalibracji modelu DNDC dla Polski wykorzystano wyjściowe kalibracje współczynników opracowane dla upraw rolniczych prowadzonych w skali regionalnej dla 15 krajów Unii Europejskiej (UE-15). Zgodność wyników plonów symulowanych z plonami doświadczalnymi oceniono przez obliczenie względnego błędu średniokwadratowego (RRMSE), który wyniósł 15% dla pszenicy. Wielkość ta potwierdza dobrą kalibrację modelu. Wrażliwość modelu została oceniona metodą Monte Carlo.

Przeprowadzone symulacje wykazały dużą wrażliwość modelu DNDC w stosunku do sekwestracji węgla, amoniaku i wymywania azotu, co potwierdziło, że wyniki przeprowadzonych symulacji dobrze odzwierciedlają zmienność warunków dla Polski. Symulacje emisji N_2O wykonane były dla pszenicy ozimej uprawianej w 4-letnim plodozmianie z rzepakiem i pszenżytem. Nawóz azotowy stosowany był w formie saletry amonowej w ilości 100 kg N/ha, w dwóch dawkach dzielonych w proporcji 60/40% w zalecanych fazach roślin. Pszenica uprawiana była w uprawie tradycyjnej (głęboka orka) połączonej ze zbiorem słomy. Po opracowaniu emisji dla rastra 50 x 50 km dokonano agregacji danych do poziomu województw (NUTS-2), a następnie na podstawie powierzchni uprawy pszenicy dokonano oszacowania emisji N_2O dla całego kraju. Ponieważ badane próby nie miały rozkładu normalnego i różniły się wariancjami do analizy wykorzystano test nieparametryczny Manna-Whitneya. Wszystkie analizy zostały wykonane przy użyciu oprogramowania Excel 2010, ArcGis ver. 10.2 i Statistica 10 PL Version 2.1.

Wyniki badań

Na rysunku 1 i 2 przedstawiono przestrzenne rozmieszczenie emisji N_2O obliczonej według metodologii IPCC – Tier 1 i modelu DNDC wyrażone w kg N/ha. Na terenie Polski występuje wyraźna różnica w wielkości emisji N_2O między tymi dwoma metodami (rys. 3). Średnia emisja N_2O z uprawy pszenicy liczona według metody Tier 1 wynosiła 3,51 kg N/ha i była prawie dwukrotnie wyższa niż symulacje emisji wykonane przy użyciu modelu DNDC (tab. 1). Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono emisję N_2O według województw. Województwa o największym areale pszenicy charakteryzuje najwyższy poziom emisji N_2O . Według modelu DNDC emisje N_2O symulowane dla całego terytorium Polski stanowiły 53% emisji liczonych według metody Tier 1 (tab. 2). Było to zgodne z wynikami, które otrzymał Li i współautorzy [2001], wykonując porównania emisji N_2O dla Chin. W analizach wykonywanych dla krajów UE stwierdzono, że emisje symulowane przez DNDC stanowiły 73% emisji szacowanych metodą IPCC – Tier 1 [JRC 2006].

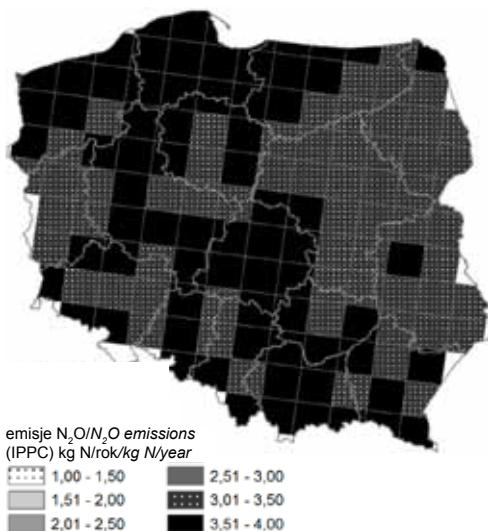
Tabela 1. Porównanie emisji N_2O w uprawie pszenicy ozimej między metodą IPCC – Tier 1 i symulacjami modelu DNDC

Table 1. Comparison of N_2O emissions in winter wheat cultivation between IPCC-Tier 1 and DNDC model simulations

Metoda/ Method	Średnia i odchylenie standardowe/ Mean and standard deviation	Mediana/ Median	Min./ Min.	Maks./ Max.
	emisja NO_2 [kg N/ha/rok]/ N_2O emissions [kg N/ha/year]			
IPCC	3,51 ±0,11	3,52a	3,27	4,00
DNDC	1,86 ±0,33	1,79b	1,35	3,00

* różne litery oznaczają statystyczne różnice (test U Manna-Whitneya $p < 0,05$)/different letters mean significant difference (test U Manna-Whitneya $p < 0.05$)
Źródło: obliczenia własne

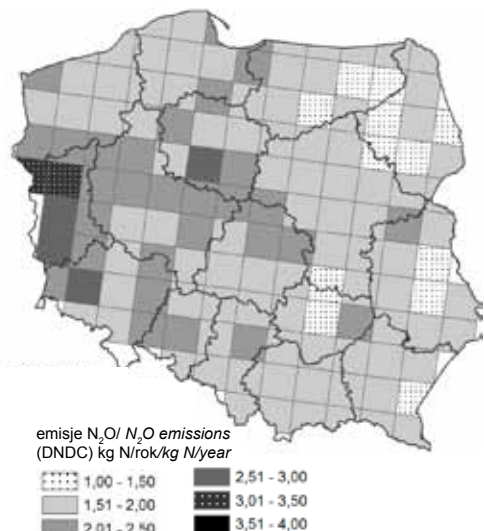
Source: own study



Rysunek 1. Emisja N_2O z uprawy pszenicy w Polsce według metody IPCC – Tier 1
Figure 1. N_2O emissions from winter wheat cultivation based on IPCC – Tier 1 method

Źródło: opracowanie własne

Source: own study



Rysunek 2. Emisja N_2O z uprawy pszenicy w Polsce według modelu DNDC – Tier 3

Figure 2. N_2O emissions from winter wheat cultivation based on DNDC model simulation – Tier 3 method

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Tabela 2. Porównanie emisji N₂O w uprawie pszenicy ozimej między metodą IPCC – Tier 1 i symulacjami modelu DNDC in Poland

Table 2. Comparison of N₂O emissions in winter wheat cultivation between IPCC-Tier 1 and DNDC model simulations in Poland

Polska/Poland	Powierzchnia uprawy [tys. ha]/Area [thous. ha]	Średnia emisje N ₂ O według/ Average N ₂ O emission i.e.		Emisja N ₂ O według/ Emission i.e.	
		IPCC	DNDC	IPCC	DNDC
		kg N/ha		tys. kg N/thous. kg N	
Ogółem/Total	1868	3,51	1,86	6556,7	3474,5
Udział/Share [%]	-	-	-	100	53

Źródło: opracowanie własne na podstawie [GUS 2013]

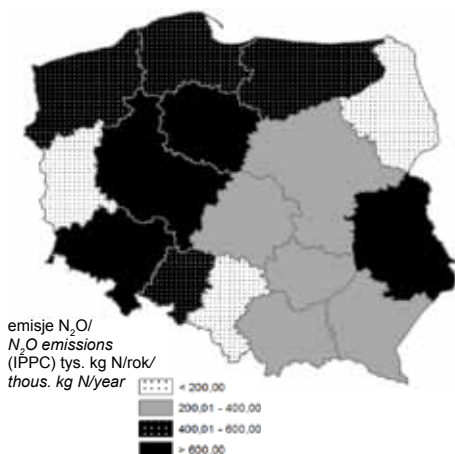
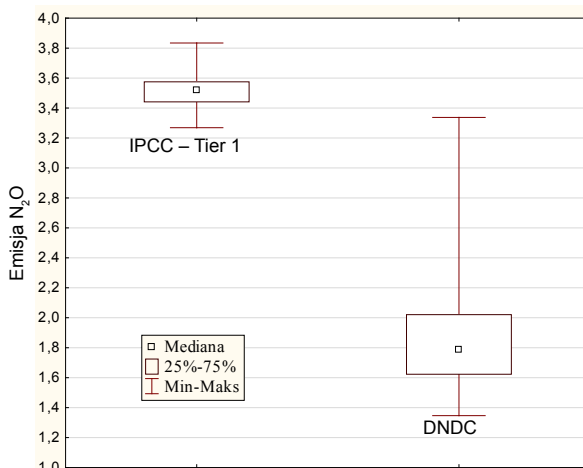
Source: own study based on [GUS 2013]

Rysunek 3. Porównanie median emisji N₂O dla pszenicy ozimej według metody IPCC-Tier1 i modelu DNDC

Figure 3. Median comparison of N₂O emissions from winter wheat cultivation based on IPCC-Tier1 method and DNDC model

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

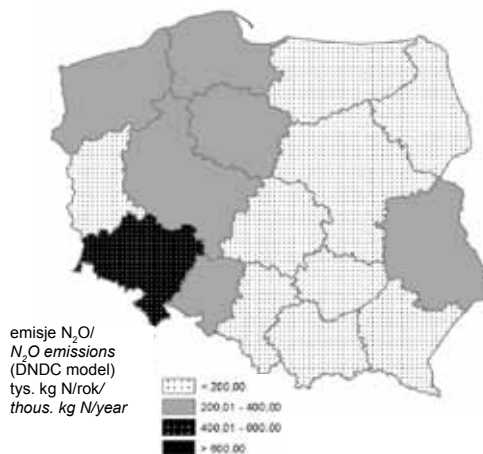


Rysunek 4. Emisja N₂O z uprawy pszenicy według województw – metoda IPCC-Tier1

Figure 4. N₂O emissions from winter wheat cultivation by NUTS-2 regions – IPCC-Tier1 method

Źródło: opracowanie własne

Source: own study



Rysunek 5. Emisja N₂O z uprawy pszenicy według województw – DNDC model

Figure 5. N₂O emissions from winter wheat cultivation by NUTS-2 regions – DNDC model

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Wnioski

Przedstawione wyniki uzasadniają twierdzenie, że metoda IPCC – Tier 1 przeszacowuje emisje N_2O . Zaletą metody Tier 1 jest jej prosta struktura, jednak nie uwzględnia ona gatunku rośliny, warunków klimatycznych i zależności między różnymi czynnikami w obiegu azotu i możliwych zależności pomiędzy zabiegami agrotechnicznymi. Metoda ta uwzględnia jedynie stosowane dawki N. W konsekwencji takie podejście pomija czynniki, które mają zasadnicze znaczenie w określeniu rzeczywistych emisji i nie uwzględnia możliwości oszacowania potencjalnego wpływu zmiany klimatu i zmiany użytkowania gruntów [Rochette i in. 2008]. Ponadto, strategie łagodzenia zmian klimatu oparte są tylko na ograniczeniu stosowania nawozów. Ponieważ metodyka Tier 1 jest bardzo ogólna, IPCC zaleca stosowanie bardziej szczegółowych metod, takich jak Tier 3. W metodzie tej przez zastosowanie biogeochemicznych modeli istnieje możliwość opracowania większej liczby strategii łagodzenia zmian klimatu. Strategie te obejmują ocenę wpływu dawki i typu nawozu, okresu i sposobu jego aplikacji oraz stosowanych technik uprawy. Dodatkowo umożliwiają wyznaczenie obszarów o dużym natężeniu emisji N_2O . Dodatkowo zastosowanie modeli do symulacji emisji N_2O pozwala prognozować wpływ praktyk mitygujących na wielkość plonów i szacować konsekwencje zmian klimatu na emisje N_2O . Otrzymane wyniki wskazują, że zastosowanie modelu biogeochemicznego, który uwzględnia warunki środowiska pozwala dokładniej oszacować emisję N_2O przy sporządzaniu raportów zgodnie z przyjętymi zobowiązaniami dotyczącymi raportowania emisji gazów cieplarnianych (GHG).

Literatura

- Gilhespy Sarah L., Steven Anthony, Laura Cardenas, David Chadwick, Agustin del Prado, Changsheng Li, Thomas Misselbrook, Robert M. Rees, William Salas, Alberto Sanz-Cobena, Pete Smith, Emma L. Tilston, Cairistiona F.E. Topp, Sylvia Vetter, Jagadeesh B. Yeluripati. 2014. "First 20 years of DNDC (DeNitrification DeComposition): Model evolution". *Ecological Modelling* 292: 51-62.
- Giltrap Donna L., Anne-Gaelle E. Ausseil, Kailash P. Thakur, M. Anne Sutherland. 2013. "Investigating a method for estimating direct nitrous oxide emissions from grazed pasture soils in New Zealand using NZ-DNDC". *The Science of the Total Environment* 465: 7-16.
- GUS. 2013. *Rocznik statystyczny rolnictwa*. Warszawa.
- IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. A report prepared by the Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI) of the IPCC. Hayama, Japan: IGES.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 1-104.
- JRC. 2006. *Well to Tank Report Version 2b*, <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW.html>.
- JRC. 2015. <http://ies-webarchive-ext.jrc.it/mars/mars/About-us/AGRI4CAST/Data-distribution/Meteorological-Interpolated-Data.html>.
- Li Changsheng, Steve Frolking. 1992. "A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: I Model structure and sensitivity". *Journal of Geophysical Research* 97: 9759-9776.
- Li Changsheng, Yahui Zhuang, Meiqiao Cao, Patrick Crill, Zhaohua Dai, Steve Frolking, Berrien Moore, William Salas, Wenzhi Song, Xiaoke Wang. 2001. "Comparing a process-based agro-ecosystem model to the IPCC methodology for developing a national inventory of N_2O emissions from arable lands in China". *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 159-175.
- Lokupitiya Erandathie, Keith Paustian. 2006. "Agricultural soil greenhouse gas emissions: a review of national inventory methods". *Journal of Environmental Quality* 35: 1413-1427.
- Oleka Anna, Katarzyna Bebkiewicz, Bogusław Dębski, Przemysław Jędrzyński, Monika Kanafa, Iwona Kargulewicz, Janusz Rutkowski, Małgorzata Sędziwa, Jacek Skośkiewicz, Damian Zasina, Magdalena Zimakowska-Laskowska, Marcin Żaczek. 2014. *Krajowy raport inwentaryzacyjny 2104. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1998-2012*. Warszawa: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami.
- Rochette Philippe, Devon E. Worth, Reynald L. Lemke, Brian G. McConkey, Daniel J. Pennock, Claudia Wagner-Riddle, Raymond L. Desjardins. 2008. "Estimation of N_2O emissions from agricultural soils in Canada. I. Development of a country-specific methodology". *Canadian Journal of Soil* 88: 641-654.

Syp Alina, Antoni Faber. 2012. "Zastosowanie modelu DNDC do symulacji plonów roślin i oceny wpływu zmian na środowisko w zmieniających się warunkach klimatycznych i różnych systemach uprawy". *Roczniki Naukowe SERiA XIV* (5): 183-187.

Syp Alina, Antoni Faber, Jerzy Kozyra, Rober Borek, Rafał Pudelko, Magdalena Borzęcka-Walker, Zuzanna Jarosz. 2011. "Modeling Impact of Climate Change and Management Practices on Greenhouse Gas Emissions from Arable Soils". *Polish Journal of Environmental Study* 20: 1593-1602.

Summary

The aim of this study was to compare nitrous oxide (N_2O) emissions using the IPCC methods – first (Tier 1) and third level (Tier 3). Simulation on third level was performed using a Denitrification-Decomposition (DNDC) model. The simulations showed that based on the Tier 1 methodology average N_2O emissions for Poland were 3.51 kg N/ha, whereas for the DNDC model – 1.86 kg N/ha. According to the DNDC model simulated N_2O emissions for the entire territory of the Poland constitute 54% of the emissions calculated according to Tier 1 method. The obtained results indicate that the use of biogeochemical model which takes into account environmental conditions allow for accurate estimations of N_2O emissions when drawing up reports in accordance with the commitments on reporting greenhouse gas (GHG) emissions.

Adres do korespondencji
dr inż. Alina Syp, prof. dr hab. Antoni Faber
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach
Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (81) 81 478 67 62, 67
e-mail: asyp@iung.pulawy.pl