

**Alina Syp, Antoni Faber, Małgorzata Kozak**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach*

## **PORÓWNANIE EMISJI N<sub>2</sub>O Z UPRAWY PSZENICY OZIMEJ W POLSCE PRZY WYKORZYSTANIU METODOLOGII IPCC POZIOM 1. I 2.**

### *COMPARISON OF N<sub>2</sub>O EMISSIONS FROM WINTER WHEAT CULTIVATION IN POLAND APPLYING TIER 1 AND 2 IPCC METHODS*

**Słowa kluczowe:** kalkulator Global Nitrous Oxide Calculator (GNOC), IPCC – Tier 1, gazy cieplarniane (GHG), emisja podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O), pszenica ozima

*Key words:* Global Nitrous Oxide Calculator (GNOC), IPCC – Tier 1, greenhouse gas emissions (GHG), nitrous oxide emission (N<sub>2</sub>O), winter wheat

*JEL codes:* Q58

**Abstrakt.** Celem badań było porównanie emisji podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O) z zastosowaniem metody IPCC między pierwszym (Tier 1) i drugim (Tier 2) poziomem. Obliczenia na poziomie 2. wykonano z wykorzystaniem kalkulatora Global Nitrous Oxide Calculator (GNOC). Przeprowadzone symulacje wykazały, że według metodyki Tier 1 średnia emisja N<sub>2</sub>O dla Polski wynosiła 3,51 kg N/ha, a według kalkulatora GNOC – 2,74 kg N/ha. Otrzymane wyniki wskazują, że zastosowanie kalkulatora GNOC, który uwzględnia zmienność agrośrodowiskową pozwala dokładniej oszacować emisję N<sub>2</sub>O przy sporządzaniu raportów, zgodnie z przyjętymi zobowiązaniami dotyczącymi raportowania emisji gazów cieplarnianych (GHG).

### **Wstęp**

Krajowe raporty inwentaryzacyjne gazów cieplarnianych (GHG) są podstawą do planowania regulacji prawnych łagodzących skutki emisji GHG, ponieważ bez informacji dotyczących emisji planowania byłoby to niemożliwe. Źródła emisji oraz metody ich liczenia zostały szczegółowo opisane w przewodniku *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* opracowanym przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu – IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [IPCC 2006]. Podtlenek azotu (N<sub>2</sub>O) jest gazem cieplarnianym o bardzo dużym potencjale ocieplenia – 298 większym niż dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>) w 100-letnim okresie [IPCC 2007]. Głównym źródłem emisji N<sub>2</sub>O jest rolnictwo, dlatego IPCC wymaga, aby w sporządzanych raportach były uwzględniane emisje N<sub>2</sub>O z rolnictwa [Giltrap i in. 2013]. N<sub>2</sub>O powstaje w wyniku procesów mikrobiologicznych zachodzących w glebach i zwiększonego użycia azotu (N) pochodzącego z nawozów mineralnych i organicznych. W 2012 roku w Polsce udział emisji N<sub>2</sub>O stanowił 7,4% całkowitej emisji GHG. Główne źródła emisji N<sub>2</sub>O i ich udziały w całkowitej emisji N<sub>2</sub>O były następujące: gleby rolne – 68,6%, odchody zwierzęce – 16,5%, przemysł chemiczny – 3,65% oraz spalanie paliw – 7,1%. W latach 1988-2012 udział emisji z gleb rolnych w Polsce wzrósł o 13% [Olecka i in. 2014]. Jest to wynikiem stosowania nawozów mineralnych, które mają wpływ na wielkość emisji N<sub>2</sub>O [Syp, Faber 2012]. W przewodniku IPCC przedstawiono 3 poziomy (Tier 1, 2 i 3) szacowania emisji N<sub>2</sub>O w zależności od ilości posiadanych danych [IPCC 2006].

Celem badań było porównanie wielkości emisji N<sub>2</sub>O szacowaną metodą Tier 1 i 2 z uprawy pszenicy ozimej w Polsce na poziomie gridów o wielkości 50x50 km.

### **Material i metodyka badań**

Za pomocą metody poziomu 1. (Tier 1) w sposób standardowy oblicza się emisję N<sub>2</sub>O z gleby na podstawie ilości dostarczonego azotu, zarówno w formie nawozów mineralnych i organicznych, rozkładu resztek poźniwnych, a także procesów biologicznych zachodzących w glebie. Jest ona

oparta na modelu empirycznym, w którym wielkość emisji  $N_2O$  wzrasta proporcjonalnie do ilości aplikowanego N i wskaźnika standardowej emisji, który wynosi  $0,01 \text{ kg } N_2O\text{-N/kg N}$  i został opracowany na podstawie ponad 900 obserwacji [Rochette i in. 2008]. W metodzie tej wykorzystuje się dane statystyczne na temat zużycia nawozów i wykorzystania resztek poźniwnych, natomiast nie uwzględnia się różnic regionalnych związanych ze zmiennością agroekosystemu. W obecnej pracy do obliczenia emisji na poziomie Tier 1 został wykorzystany kalkulator BioGrace ver. 4d [BioGrace 2015]. Dane niezbędne do obliczeń emisji  $N_2O$  dla każdego gridu to: plon ziarna pszenicy i słomy, oraz wielkość nawożenia azotem (N) w czystym składniku. Plony ziarna pszenicy dla każdego gridu zostały obliczone według symulacji wykonanych w modelu DeNitrification-DeComposition (DNDC) w wersji 9.2 [www.afoludata.jrc.ec.europa.eu/index.php/models/files/5]. Do symulacji plonów wykorzystano trzydziestoletnią serię danych meteorologicznych za okres 1975-2004. Dane te pozyskano z Joint Research Center (JRC) 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 interpolowano do sieci kwadratów (rastra) o wymiarach  $50 \times 50 \text{ km}$ . Metoda symulacji spełniła wymagania Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych [Dz.Urz. UE 140(56)]. Kalibracja modelu została dokonana w Stacji Doświadczalnej w Grabowie przez porównanie zmierzonych plonów biomasy z symulowanymi danymi z modelu. Plon biomasy obejmował plon ziarna, pędów roślinnych i korzeni. Na podstawie średniokwadratowego błędu symulacji (RRMS) dokonano oceny modelu, którego wartość w odniesieniu do biomasy wynosiła 15%. Wynik ten mieścił się w przedziale 10-20%, co pozwoliło wykorzystać go do dalszych obliczeń. Wrażliwość modelu została oceniona metodą Monte Carlo. W obliczeniach emisji uwzględniono 15% wilgotność ziarna. Plony zebranej słomy obliczono wykorzystując mnożnik 0,9 dla plonu ziarna oraz uwzględniając 20% straty słomy występujące w czasie zbioru, co oznacza, że ta część słomy została na polu i miała wpływ na wielkość emisji  $N_2O$ .

Zależności pomiędzy klimatem, rodzajem gleby, uprawianymi gatunkami i stosowanymi praktykami rolniczymi (np. rodzaj nawozu, sposób uprawy, nawodnienia) mogą wpływać znacząco na wielkość emisji  $N_2O$ . Dlatego IPCC zaleca stosowanie metodologii poziomu 2. (Tier 2), która uwzględnia zróżnicowane warunki środowiskowe i wykorzystanie opracowanych dla regionu wskaźników emisji. Uwzględniając metodykę Tier 2 opracowano kalkulator do liczenia emisji  $N_2O$  – GNOC (*Global Nitrous Oxide Calculator*) [Köble 2014]. Kalkulator ten umożliwia liczenie emisji  $N_2O$  w ujęciu globalnym dla roślin wykorzystywanych jako surowiec do produkcji biopaliwa w układzie przestrzennym  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  dla 2000 roku. Dane wykorzystane do opracowania GNOC dotyczące powierzchni i plonów roślin oraz stosowanych nawozów azotowych i organicznych pochodziły z bazy Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), jakości gleb z Ujednoliconej Bazy Glebowej Świata (*Harmonized World Soil Database*) [Edwards i in. 2012].

Przy obliczaniu emisji dla każdego gridu w kalkulatorze GNOC wykorzystano następujące dane: plon pszenicy i słomy, rodzaj gleby, nawożenie mineralne oraz parametry środowiskowe. Wielkość plonu pszenicy, słomy oraz strat słomy dla każdego gridu były te same jak przyjęte w metodzie Tier 1. Aby dokonać obliczeń plonu każdy grid przyporządkowano do miejscowości, które miały współrzędne geograficzne analizowanego gridu. Do analizy dla wszystkich gridów przyjęto gleby ilaste żyzne określone według metodyki IPCC jako *high clay activity mineral*. Typ ten został wybrany na podstawie zawartości węgla (SOC) w warstwie ornej gleby dla poszczególnych kwadratów. Zostało to określone zgodnie z opracowaną przez IUNG-PIB procedurą określania średnich ważonych zawartości SOC w każdym kwadracie. Jako dane wyjściowe wykorzystano charakterystyki fizyko-chemiczne dla 15 000 wzorcowych profili glebowych rozmieszczonych w całej Polsce. Parametry środowiskowe określone w kalkulatorze GNOC obejmowały strefę klimatyczną i charakterystykę gleby. Strefa klimatyczna przypisana do każdego gridu w Polsce to *temperate continental*.

W badaniach do obliczenia emisji  $N_2O$  wykorzystano dane ankietowe dla gospodarstw uprawiających pszenicę ozimą w płodozmianie z rzepakiem i pszenżytem. Badanie te zostały przeprowadzone w 2010 roku, w 297 gospodarstwach uprawiających pszenicę na terenie całej Polski. Liczba gospodarstw w poszczególnych województwach odzwierciedlała udział pszenicy w strukturze zasiewów. Przeprowadzone badanie ankietowe dostarczyło danych do określenia najczęściej stosowanych technik produkcji. Stwierdzono, że średnia dawka N stosowana w uprawie pszenicy w badanych gospodarstwach wynosiła 120 kg N/ha. Dawka ta została wykorzystana do liczenia emisji  $N_2O$  na poziomie Tier 1 i 2. Pszenica uprawiana była w uprawie tradycyjnej (głęboka orka) połączonej ze zbiorem słomy. Ponieważ badane próby nie miały rozkładu normalnego i różniły się wariancjami, do analizy wykorzystano test nieparametryczny Manna-Whitneya. Wszystkie analizy wykonano przy użyciu oprogramowania BioGrace vr. 4d, Excel 2010, ArcGis ver. 10.2 i Statistica 10 PL Version 2.1.

### Wyniki badań

Na rysunku 1 przedstawiono przestrzenne rozmieszczenie emisji  $N_2O$  obliczonej według metodologii IPCC – Tier 1 i kalkulatora GNOC wyrażone w kg N/ha. Na obszarze Polski występuje istotna różnica w wielkości emisji  $N_2O$  liczona tymi dwoma metodami (tab. 1). Średnia emisja  $N_2O$  z uprawy pszenicy liczona według metody Tier 1 wynosiła 3,51 kg N/ha i była o 28% wyższa niż obliczona przy użyciu kalkulatora GNOC, gdzie wynosiła 2,74 kg N/ha (tab. 1). Wartości median emisji  $N_2O$  w obu zastosowanych metodach miały wartości średnich, jednak występowała duża różnica pomiędzy minimalnymi i maksymalnymi wartościami. Rozkład częstości emisji wskazał, że 95% emisji  $N_2O$  liczona przy użyciu kalkulatora GNOC znajdowała się w przedziale 2,51-3,00 kg N/ha, a emisje liczone według metody poziomu 1. IPCC były większe (rys. 2). Otrzymane wyniki dla Polski były zgodne z obliczeniami wykonanymi przez Lesschena i współautorów [2011]. Metoda Tier 2 jest wykorzystywana do sporządzenia krajowego raportu emisji GHG w Kanadzie. Obliczone wielkości emisji  $N_2O$  dla terenów położonych w zachodniej części tego kraju były o 20% mniejsze niż obliczone według metody IPCC Tier 1. Zastosowanie metody Tier 2, uwzględniającej regionalną zmienność klimatu, użytkowania terenu i warunków glebowych zdaje się szczególne trafne w przypadku kraju o zróżnicowanych warunkach środowiskowych [Rochette i in. 2008].

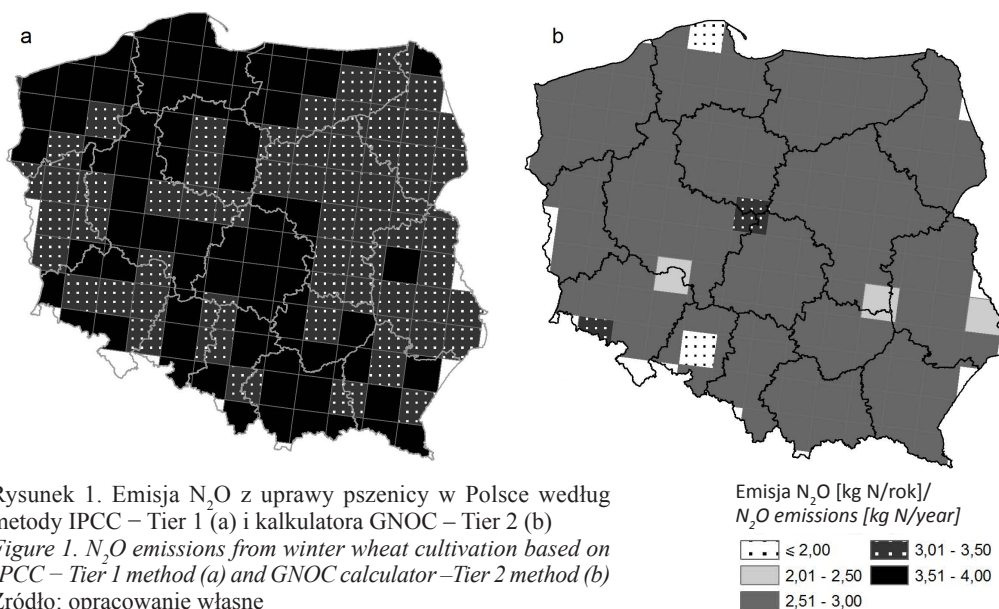


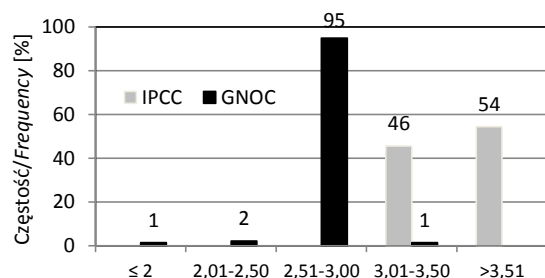
Tabela 1. Porównanie emisji N<sub>2</sub>O w uprawie pszenicy ozimej między metodą IPCC – poziom 1. i 2.Table 1. Comparison of N<sub>2</sub>O emissions in winter wheat cultivation between IPCC – Tier 1 and 2

Metoda/Method	Średnia i odchylenie standardowe/ Mean and standard deviation	Mediana/Median	Minimum/ Min.	Maksimum/ Max.
	emisje N <sub>2</sub> O [kg N/ha/rok]/N <sub>2</sub> O emissions [kg N/ha/year]			
IPCC	3,51 ±0,11	3,52a	3,27	3,83
GNOC	2,74 ±0,21	2,75b	1,19	3,06

a,b – 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: opracowanie własne

Source: own study



Rysunek 2. Częstość rozkładu emisji N<sub>2</sub>O dla metody Tier 1 i kalkulatora GNOC

Figure 2. Frequency distributions of N<sub>2</sub>O emissions based on IPCC-Tier1 method and GNOC calculator

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

## Wnioski

Obecnie stosowana metoda Tier 1 IPCC do obliczania emisji z gruntów użytkowanych rolniczo nie uwzględnia wpływu zmienności gatunków roślin, warunków klimatycznych i glebowych oraz stosowanych zabiegów agrotechnicznych. W wyniku tego pominięte są czynniki, które są kluczowe w określeniu wielkości emisji oraz oceny potencjalnego wpływu zmian klimatu i sposobów użytkowania gruntów. Metoda ta nie uwzględnia stosowanych zabiegów mitygujących w praktyce rolniczej. Jedynym elementem, który jest uwzględniany w tych raportach są zmiany stosowanych nawozów mineralnych i organicznych. Przedstawione wyniki potwierdzają, że uwzględnienie zmienności środowiskowej powoduje mniejsze emisje N<sub>2</sub>O. Dlatego, metodyka Tier 2 powinna być wykorzystywana przy obliczaniu emisji N<sub>2</sub>O. Kalkulator GNOC został opracowany z uwzględnieniem założeń metodyki Tier 2. Zastosowanie tej metody umożliwia opracowanie większej liczby strategii łagodzenia zmian klimatu, które obejmują ocenę wpływu dawki i typu nawozu, okresu i sposobu jego aplikacji, oraz stosowanych technik uprawy.

## Literatura

BioGrace. 2015. *BioGrace calculation rules – version 4d*. <http://biograce.net/home>.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE i 2003/30/EC, Dz.Urz. UE, 140(56).

Edwards Robert, Declan Mulligan, Jacopo Giuntoli, Alessandro Agostini, Aikaterini Boulamanti, Renate Koeble, Luisa Marelli, Alberto Moro, Monica Padella. 2012. *Assessing GHG default emissions from biofuels in EU legislation*. Joint Research Centre of the European Commission, doi. 10.2788/66442.

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.

IPCC. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, red. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. IGES, Hayama, Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change, IGES. ISBN 4-88788-032-4.

- Köble Renate. 2014. *Global Nitrous Oxide Calculator – GNOC – Online Tool Manual*. Joint Research Centre of the European Commission, www.gnoc.jrc.ec.europa.eu.
- Lesschen Jan Peter, Gerard L. Velthof, Wim de Vries, Johannes Kros. 2011. "Differentiation of nitrous oxide emission factors for agricultural soils". *Environmental Pollution* 159: 3215-3222.
- Olecka Anna, Katarzyna Bebkiewicz, Bogusław Dębski, Przemysław Jędrzyak, Monika Kanafa, Iwona Kargulewicz, Janusz Rutkowski, Małgorzata Sędziwa, Jacek Skośkiewicz, Damian Zasina, Magdalena Zimakowska-Laskowska, Marcin Żaczek. 2014. *Krajowy raport inwentaryzacyjny 2014. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1998-2012*. Warszawa: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE) w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym.
- 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.

### **Summary**

*The purpose of this research was to compare nitrous oxide ( $N_2O$ ) emissions using the IPCC methods – first (Tier 1) and second level (Tier 2). Calculation on the second level was performed using a Global Nitrous Oxide Calculator (GNOC). The calculations showed that based on the Tier 1 methodology average  $N_2O$  emissions for Poland were 3.51 kg N/ha, whereas for the GNOC calculator – 2.74 kg N/ha. The obtained results indicate that the use of GNOC calculator which takes into account agro-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 hab. Alina Syp, prof. dr hab. Antoni Faber, mgr Małgorzata Kozak  
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB  
Zakład Biogospodarki i Analiz Systemowych  
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy  
tel. (81) 81 4786 762, 767, 769  
e-mail: asyp@iung.pulawy.pl