

**Zuzanna Jarosz, Antoni Faber**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach*

## **REGIONALNE ZRÓŻNICOWANIE EMISJI PODTLENKU AZOTU Z ROLNICZEGO UŻYTKOWANIA GLEB**

### *REGIONAL DIVERSITY IN NITROUS OXIDE EMISSION FROM THE AGRICULTURAL USE OF SOIL*

**Słowa kluczowe:** emisja podtlenku azotu, emisja gazów cieplarnianych, model DNDC

*Key words:* nitrous oxide emission, greenhouse gas emission, DNDC model

*JEL codes:* Q53

**Abstrakt.** Celem badań było określenie wpływu czynników decydujących o regionalnym zróżnicowaniu wielkości emisji podtlenku azotu z użytkowania gleb w Polsce. W analizach jako zmienne modyfikujące wielkość emisji  $N_2O$ , uwzględniono początkową zawartość węgla w glebie, sekwestrację węgla oraz pH gleby. Uzyskane wyniki pokazały, że o regionalnym zróżnicowaniu emisji  $N_2O$  w głównej mierze decydowała początkowa zawartość węgla w glebie i jego sekwestracja. Największe emisje stwierdzono w województwie lubuskim, były one od 3 do 3,5 razy większe w porównaniu do innych regionów.

### **Wstęp**

Kraje będące sygnatariuszami Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz protokołu z Kioto mają obowiązek dokonywania corocznych inwentaryzacji emisji wszystkich gazów cieplarnianych. Ponieważ wszystkie kraje powinny stosować porównywalne metody inwentaryzacji, Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu – IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) opracował metodologię szacowania emisji gazów cieplarnianych (GHG – *greenhouse gas*) dla wszystkich sektorów objętych obowiązkiem inwentaryzacji. Metodyka szacowania emisji gazów cieplarnianych zalecana przez IPCC została opisana w dokumencie *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [IPCC 2006]. Zgodnie z metodyką szacunki można wykonywać na różnym poziomie szczegółowości (poziom 1., 2. i 3.).

Jednym z najważniejszych gazów, którego wielkość emisji musi być ujęta w całkowitych szacunkach GHG, jest podtlenek azotu ( $N_2O$ ). Właściwym sposobem uwzględniania emisji  $N_2O$  z gleb uprawnych jest metoda IPCC, obejmująca zarówno emisje bezpośrednie, jak i pośrednie. Poziom 3. polegający na szczegółowych pomiarach i/lub modelowaniu, uwzględniający zmienność warunków, jest najbardziej odpowiedni, zwłaszcza do celów szacowania emisji w skali regionalnej.

Do symulowania w skali przestrzennej Polski emisji podtlenku azotu ( $N_2O$ ) zastosowano mechanistyczny model Denitrification – Decomposition (DNDC). Model opracowano na Uniwersytecie w New Hampshire (USA) [DNDC model]. Był szeroko wykorzystywany do symulacji przemian węgla i azotu na terenie Europy [Leip i in. 2007, 2008]. Model zastosowano także w projekcie Unii Europejskiej (UE) NitroEurope do symulacji przemian azotu w agrosystemach, w tym emisji  $N_2O$  [NitroEurope IP]. Również brytyjska agencja RFA (Renewable Fuels Agency), rozliczająca m.in. emisje gazów cieplarnianych powstające podczas produkcji biopaliw płynnych, uznaje za obowiązujące w Wielkiej Brytanii wyniki symulacji emisji  $N_2O$ , wykonywane w skali regionalnej, z użyciem DNDC [RFA 2009]. Do symulacji bilansów azotu w rolnictwie europejskim model zastosował Wim De Vries z zespołem [2011]. Wyniki symulacji modelu DNDC były walidowane w ponad 100 badaniach, które wykazały, że dobrze symuluje plony, przemiany węgla i azotu oraz bilans wody [Beheydt i in. 2007, Giltrap i in. 2010, Salas 2010].

Liczne zastosowania modelu w warunkach rolnictwa europejskiego przemawiały za jego wyborem. W Polsce model zastosowano do analizy sekwestracji węgla organicznego w glebach [Faber i in. 2013].

Celem badań było określenie wpływu czynników decydujących o regionalnym zróżnicowaniu wielkości emisji podtlenku azotu z rolniczego użytkowania gleb w Polsce.

### Material i metodyka badań

Skalibrowany i zweryfikowany dla warunków wysokoprodukcyjnych gospodarstw bezinwentarzowych, działających w Polsce model DNDC zastosowano do dokładnego symulowania w skali przestrzennej Polski emisji podtlenku azotu w okresie 20-lecia dla 136 kwadratów o boku 50 x 50 km pokrywających terytorium kraju. W symulacjach wykorzystywano dobowe dane meteorologiczne (średnia temperatura, opady), fizyko-chemiczne charakterystyki gleb (zawartość iłu koloidalnego, ciężar objętościowy, pH, zawartość glebowej materii organicznej) oraz wymagania agrotechniczne (terminy siewów i zbiorów, dawki nawozów N i ich podział). Uwzględniały one zmianowanie roślin: kukurydza – pszenica – rzepak – pszenica. Symulacje prowadzono dla czterech systemów uprawy: (1) płuźnej (pełnej) ze zbiorem całej ilości resztek poźniwnych; (2) płuźnej i przyorywania całej ilości resztek poźniwnych; (3) uproszczonej i pozostawiania całej ilości resztek poźniwnych na polu oraz (4) bezorkowej i pozostawiania całej ilości resztek poźniwnych na polu. Oszacowane dla 136 kwadratów emisje  $N_2O$  agregowano

Tabela 1. Zależności między emisjami  $N_2O$  [kg N/ha] a zawartościami węgla organicznego w glebie [SOC, t C/ha] oraz rocznymi sumami opadów [Op, mm]  
Table 1. The relationship between  $N_2O$  emissions [kg N/ha] and the contents of soil organic carbon [SOC, t C/ha] and annual precipitation totals [Op, mm]

System uprawy (warianty)/ Tillage system (variants)*	Regresja/Regression	R <sup>2</sup> [%]
1.	$N_2O = 0,021 SOC - 0,001 Op$	90,2
2.	$N_2O = 0,027 SOC - 0,002 Op$	90,8
3.	$N_2O = 0,028 SOC - 0,002 Op$	90,6
4.	$N_2O = 0,019 SOC - 0,001 Op$	91,2

warianty 1.-4./ variants 1-4:

1. uprawa płuźna przy zbiorze całej ilości resztek poźniwnych/*tillage with the total quantity of crop residues collection*,
2. uprawa płuźna i przyorywanie całej ilości resztek poźniwnych/*tillage with the total quantity of crop residues incorporation*,
3. uprawa uproszczona i pozostawienie całej ilości resztek poźniwnych na polu/*reduced tillage and leaving entire amount of crop residues at the field*,
4. uprawa bezorkowa i pozostawienie całej ilości resztek poźniwnych na polu/*no tillage and leaving entire amount of crop residues at the field*.

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

do poziomu województw. Emisję podtlenku azotu analizowano na tle czynników przyrodniczych i organizacyjnych. Zależności badano metodą regresji wielokrotnych liniowych z krokową selekcją zmiennych. Wyniki zaprezentowano wyłącznie dla zmiennych statystycznie istotnie wpływających na symulowane wartości emisji  $N_2O$ . Zastosowanie metody analizy skupień k-Warda umożliwiło wyodrębnienie grup województw zróżnicowanych pod względem emisji  $N_2O$ . Metoda pozwala na wyodrębnienie jednorodnych grup skupiających się wokół zadanych z góry obserwacji, traktowanych jako punkty odniesienia dla konstruowanych skupień. Do oszacowania odległości między skupieniami wykorzystuje podejście analizy wariancji. Metoda ta zmierza do minimalizacji sumy kwadratów odchyień wewnątrz skupień. Do obliczeń wykorzystano pakiet statystyczny Statgraphics Centurion ver. 16.1.11.

### Wyniki badań

Przemiany azotu i węgla w glebach są ze sobą powiązane. Poprawa agrotechniki zwiększa sekwestrację węgla, a tym samym ogranicza emisje GHG. Natomiast wniesienie do gleb dużych ilości słomy lub pozostawienie znacznych ilości słomy na powierzchni pola w postaci mulczu powoduje uwalnianie

się wskutek jej mineralizacji dodatkowych ilości azotu. Wpływa to na przemiany azotu i emisje  $N_2O$ , na których wielkość mogą kształtować także dodatkowe czynniki. Emisje  $N_2O$  mogą maleć wraz ze wzrostem opadów i pH gleby oraz rosnąć w miarę wzrostu początkowej zawartości materii organicznej. Ważne było więc zbadanie, które zależności wpływają w sposób statystycznie istotny na symulowane wielkości emisji  $N_2O$ .

Wielkości emisji  $N_2O$  modyfikowane były głównie przez wielkości początkowej zawartości materii organicznej oraz przez opad (tab. 1).

We wszystkich systemach uprawy emisje  $N_2O$  zwiększały się wraz ze wzrostem początkowej zawartości materii organicznej i malały w miarę wzrostu opadów. Uwzględnienie sekwestracji węgla jako dodatkowej zmiennej niezależnej wpływa na modyfikację zależności (tab. 2).

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że we wszystkich systemach uprawy emisja  $N_2O$  zwiększała się, głównie wraz ze wzrostem początkowej zawartości węgla w glebie i malała wraz ze wzrostem sekwestracji węgla. Natomiast uwzględnienie zmiennej pH gleby wykazało, że emisja  $N_2O$  malała wraz ze wzrostem sekwestracji węgla i zwiększała się wraz ze wzrostem wartości pH gleby (tab. 3).

Analizę skupień dla województw wykonano ze względu na główne zmienne modyfikujące emisje podtlenku azotu. Analiza przeprowadzona w zależności od początkowej zawartości węgla w glebie (główna zmienna) i sekwestracji węgla (zmienna towarzysząca) umożliwiła wyróżnienie jednorodnych emisji  $N_2O$  w trzech grupach województw dla wszystkich systemów uprawy (rys. 1).

Wspólne wartości analizowanych zmiennych w grupach województw przedstawiono w tabeli 4. Uzyskane wyniki pokazują duży wpływ małych wartości sekwestracji węgla (Cseq) i dużych wartości początkowej zawartości węgla w glebie (SOC) na wielkość emisji  $N_2O$  w skupieniu 3. (woj. lubuskie). Emisja podtlenku azotu była od 3 do 3,5 razy większa niż w pozostałych skupieniach. Wzrost sekwestracji węgla w poszczególnych systemach uprawy wpływał na obniżenie emisji  $N_2O$ .

Również trzy grupy województw (skupień) wyodrębniono we wszystkich systemach uprawy dla emisji  $N_2O$  w zależności od sekwestracji węgla (główna zmienna) i pH gleby (zmienna towarzysząca) (rys. 2).

Tabela 2. Zależności między emisjami  $N_2O$  [kg N/ha] a zawartościami węgla organicznego w glebie [SOC, t C/ha] oraz sekwestracjami węgla [Cseq, t C/ha/r]  
Table 2. The relationship between  $N_2O$  emissions [kg N/ha] and the contents of soil organic carbon [SOC, t C/ha] and carbon sequestration [Cseq, t C/ha/r]

System uprawy (warianty)/ Tillage system (variants)*	Regresja/ Regression	R <sup>2</sup> [%]
1.	$N_2O = 0,012 \text{ SOC} - 1,527 \text{ Cseq}$	88,5
2.	$N_2O = 0,031 \text{ SOC} - 2,029 \text{ Cseq}$	92,2
3.	$N_2O = 0,030 \text{ SOC} - 1,934 \text{ Cseq}$	91,8
4.	$N_2O = 0,020 \text{ SOC} - 0,248 \text{ Cseq}$	92,2

\* oznaczenia 1.-4. jak w tab. 1/  
designation 1-4 see tab. 1.

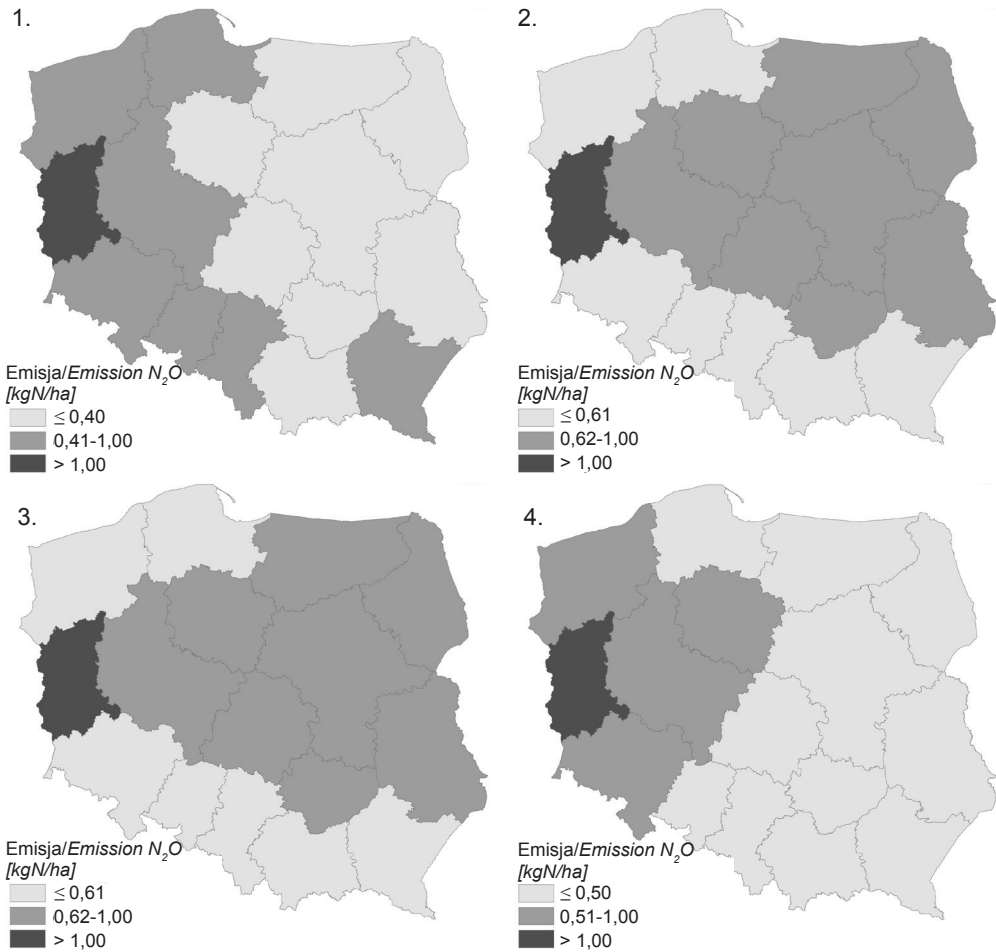
Źródło: opracowanie własne  
Source: own study

Tabela 3. Zależności między emisjami  $N_2O$  [kg N/ha] a sekwestracjami węgla [Cseq, t C/ha/r] oraz pH gleby  
Table 3. The relationship between  $N_2O$  emissions [kg N/ha] and carbon sequestration [Cseq, t C/ha/r] and soil pH

System uprawy (warianty)/ Tillage system (variants)*	Regresja/ Regression	R <sup>2</sup> [%]
1.	$N_2O = -3,212 \text{ Cseq} + 0,152 \text{ pH}$	90,0
2.	$N_2O = -2,808 \text{ Cseq} + 0,384 \text{ pH}$	85,7
3.	$N_2O = -2,812 \text{ Cseq} + 0,348 \text{ pH}$	86,3
4.	$N_2O = -0,418 \text{ Cseq} + 0,244 \text{ pH}$	89,7

\* oznaczenia 1.-4. jak w tab. 1/  
designation 1-4 see tab. 1.

Źródło: opracowanie własne  
Source: own study



Rysunek 1. Podział województw na grupy zróżnicowane pod względem emisji N<sub>2</sub>O w zależności od zawartości węgla organicznego w glebie i sekwestracji węgla

Figure 1. Division of provinces into groups differentiated with respect of N<sub>2</sub>O emissions depending on the content of soil organic carbon and carbon sequestration

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Tabela 4. Zróżnicowanie zmiennych (Cseq, SOC) w wydzielonych rejonach

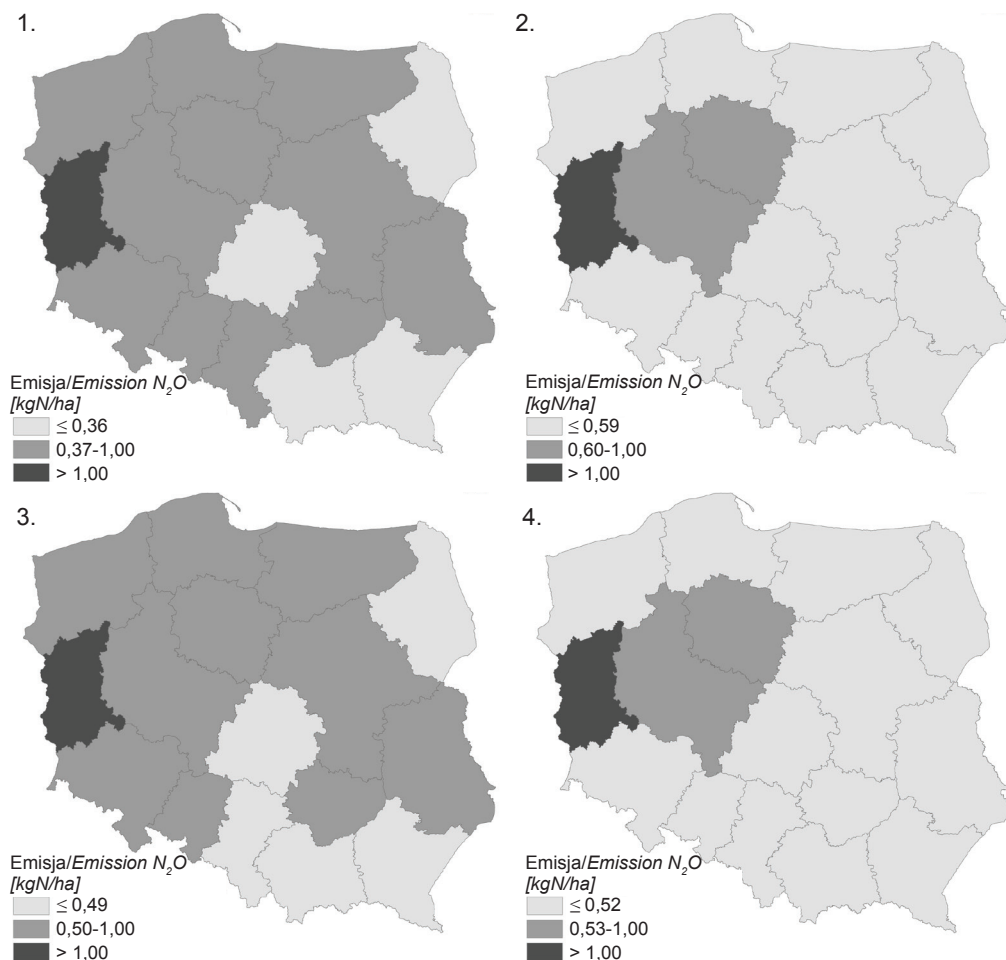
Table 4. Differentiation of variables (Cseq, SOC) in isolated regions

Skupienie/ Cluster	System uprawy (warianty)/Tillage system (variants)*											
	1.			2.			3.			4.		
	N <sub>2</sub> O	Cseq	SOC	N <sub>2</sub> O	Cseq	SOC	N <sub>2</sub> O	Cseq	SOC	N <sub>2</sub> O	Cseq	SOC
1.	0,46	0,13	64,3	0,61	0,60	64,3	0,61	0,59	64,3	0,66	2,13	62,3
2.	0,39	0,20	53,0	0,63	0,54	53,0	0,63	0,54	53,0	0,50	2,51	56,8
3.	1,38	0,00	80,0	1,89	0,47	80,0	1,89	0,46	80,0	1,49	1,93	80,0

\* oznaczenia 1.-4. jak w tab. 1/designation 1-4 see tab. 1.

Źródło: opracowanie własne

Source: own study



Rysunek 2. Podział województw na grupy zróżnicowane pod względem emisji N<sub>2</sub>O w zależności od sekwestracji węgla i pH gleby

Figure 2. Division of provinces into groups differentiated with respect of N<sub>2</sub>O emissions depending on carbon sequestration and soil pH

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

Tabela 5. Zróżnicowanie zmiennych (Cseq, pH) w wydzielonych rejonach

Table 5. Differentiation of variables (Cseq, pH) in isolated regions

Skupienie/ Cluster	System uprawy (warianty)/Tillage system (variants)*											
	1.			2.			3.			4.		
	N <sub>2</sub> O	Cseq	pH	N <sub>2</sub> O	Cseq	pH	N <sub>2</sub> O	Cseq	pH	N <sub>2</sub> O	Cseq	pH
1.	0,45	0,16	6,66	0,59	0,58	6,44	0,69	0,55	6,68	0,52	2,47	6,44
2.	1,38	0,00	6,44	0,80	0,51	7,08	1,89	0,46	6,44	0,67	2,02	7,08
3.	0,36	0,20	6,15	1,89	0,47	6,44	0,49	0,61	6,21	1,49	1,93	6,44

\* oznaczenia 1.-4. jak w tab. 1/designation 1-4 see tab. 1.

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

W grupach tych wspólne wartości analizowanych zmiennych przedstawiono w tabeli 5. Uzyskane wyniki pokazują duży wpływ małych wartości sekwestracji węgla i umiarkowany wpływ wartości pH gleby na wielkość emisji  $N_2O$ . Zależności te stwierdzono szczególnie dla województwa lubuskiego, tj. skupienie 2. – w systemie uprawy pląznej ze zbiorem słomy i uproszczonym z pozostawianiem na polu resztek poźniwnych oraz skupienie 3. – w pozostałych systemach uprawy (tab. 5).

### Podsumowanie

Reasumując uzyskane wyniki dla emisji  $N_2O$  można stwierdzić, że ich wielkości były modyfikowane głównie przez początkową zawartość węgla organicznego w glebie oraz sekwestrację węgla. Można domniemywać, że ze względu na mniejsze początkowe zawartości węgla w glebie w Polsce w porównaniu do tego typu gleb w Europie, emisja  $N_2O$  z gleb użytkowanych rolniczo będzie mniejsza.

### Literatura

- Beheydt Daan, Pascal Boeckx, Steven Sleutel, Changsheng Li, Oswald Van Cleemput. 2007. "Validation of DNDC for 22 long-term  $N_2O$  field emission measurements". *Atmospheric Environment* 41: 6196-6211.
- De Vries Wim, Adrian Leip, Gert Jan Reinds, Hans Kros, Jan Peter Lesschen, Lex Bouwman. 2011. "Comparison of land nitrogen budgets for European agriculture by various modeling approaches". *Environmental Pollution* 159 (11): 3254-3268.
- DNDC model. Institute for the Study of Earth, Oceans, and Space, University of New Hampshire, <http://www.dndc.sr.unh.edu>, dostęp 13.02.2017.
- Faber Antoni, Zuzanna Jarosz, Anna Nieróbca, Janusz Smagacz. 2013. *Sekwestracja węgla organicznego w glebach Polski jako sposób na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia bioetanolu i biodiesla (LCA)*. Raport 165. Projekt N N313 759240 finansowany przez Narodowe Centrum Nauki. Puławy: IUNG-PIB.
- Giltrap Donna, Changsheng Li, Surinder Sagggar. 2010. "DNDC: A process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils". *Agriculture, Ecosystems & Environment* 136: 292-300.
- 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: IGES.
- Leip Adrian, Marchi G., Renate Koeble, Markus Kempen, Wolfgang Britz, Changsheng Li. 2007. "Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen losses from cropland soil in Europe". *Biogeoscience Discussion* 4: 2215-2278.
- Leip Adrian, Guilherme Marchi, Renate Koeble, Markus Kempen, Wolfgang Britz, Changsheng Li. 2008. "Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe". *Biogeosciences* 5: 73-94.
- NitroEurope IP. <http://www.nitroeuropa.eu>.
- RFA. 2009. *Carbon and sustainability reporting within the renewable transport fuel obligation, technical guidance part two carbon reporting – default values and fuel chains*. London: Renewable Fuels Agency.
- Salas William. 2010. "Agricultural Strategies for mitigating GHG emission: DNDC model and case studies". <https://www.arb.ca.gov/research/seminars/salas/salas.pdf>.

### Summary

*The aim of the study was to determine the impact of the analyzed factors on the regional differentiation of nitrous oxide emission values from the agricultural use of soil in Poland. In the analyses, the initial content of soil organic carbon, carbon sequestration and soil pH were taken into account as variables modifying the value of nitrous oxide emission. The results showed that regional differentiation of nitrous oxide emissions was shaped mainly by the initial content of soil organic carbon and carbon sequestration. The highest emission values, 3 to 3.5 times higher than in other regions, were identified in Lubuskie voivodship.*

Adres do korespondencji  
dr Zuzanna Jarosz, prof. dr hab. Antoni Faber  
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB w Puławach  
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, tel. (81) 47 86 766  
e-mail: zjarosz@iung.pulawy.pl