



## **Zastosowanie modelu LandscapeDNDC do symulacji warunków wodnych gleby oraz plonu roślin uprawnych**

*Jędrzej Nyćkowiak, Jacek Leśny, Radosław Juszczyk,  
Janusz Olejnik, Andrzej Blecharczyk  
Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań*

*Edwin Haas, Ralf Kiese, Klaus Butterbach-Bahl  
Karlsruhe Institute of Technology,  
Garmisch-Partenkirchen, Niemcy*

### **1. Wstęp**

W pracy oceniono wyniki symulacji zawartości wody w glebie (SWC – soil water content) oraz symulowanych wielkości plonów roślin uprawnych przy użyciu modułowego modelu LandscapeDNDC [10], należącego do rodziny modeli DNDC [18]. Celem tej oceny było określenie poprawności symulowania warunków wodnych w glebie oraz plonowania roślin. Błąd oszacowania SWC oceniono porównując wymodelowane wyniki z wartościami zmierzonymi na automatycznej stacji pomiarowej. Natomiast wzrost i plonowanie roślin oceniono poprzez porównanie symulowanego plonu roślin z faktycznie uzyskanym plonem, przy czym należy zaznaczyć, iż oceny tej dokonano na terenie poletek eksperymentalnych mogących odbiegać w niektórych przypadkach od średniej krajowej pod względem wielkości plonów. Wybrane poletka eksperymentalne znajdują się na terenie Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Brodach, są częścią doświadczenia polowego trwającego nieprzerwanie od roku 1957 [2]. Doświadczenie charakteryzuje się stałym zmianowaniem oraz bardzo dokładnymi danymi dotyczącymi zarówno zabiegów agrotechnicznych, środków ochrony roślin oraz wielkości plonów. Na

stacji od roku 2011 funkcjonuje automatyczna stacja meteorologiczna. Dzięki tak dużej dostępności danych dotyczących zarówno użytkowania terenu, jak i poszczególnych elementów meteorologicznych stanowisko to jest doskonałym miejscem do prowadzenia badań modelowych.

Model LandscapeDNDC symuluje przede wszystkim emisje/pochłanianie następujących gazów cieplarnianych: ditlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), tlenku diazotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ) oraz metanu ( $\text{CH}_4$ ). Ich źródłem, lub też pochłaniaczem mogą być na przykład uprawiane rolniczo grunty orne [3, 5, 20, 23, 26, 33]. Grunty te stanowiły w roku 2009 niespełna 38,4% obszaru całej Polski [9]. Zachodzi w nich wiele biofizykochemicznych procesów, wśród których najważniejszymi z punktu widzenia globalnych zmian klimatycznych są procesy nityfikacji oraz denityfikacji (pozostałe to mineralizacja, metanogeneza i utlenianie metanu) [21, 22, 28, 33]. Procesy te mają wpływ na wielkość emisji/pochłaniania  $\text{N}_2\text{O}$  jak również  $\text{CO}_2$  i  $\text{CH}_4$ . Mogą być symulowane przez modele numeryczne oparte na procesach, które symulują biogeochemiczne reakcje zachodzące w glebie. Wykorzystanie modeli numerycznych takich jak rodzina DNDC nie jest limitowane przestrzenią i czasem w porównaniu z możliwościami wykonywania pomiarów terenowych metodami kowariancji wirów czy też pomiarami komorowymi używając komór statycznych lub dynamicznych [1, 16, 24, 32].

## 2. Materiał i metody

### 2.1. Ogólny opis modelu

Pierwotna wersja modelu DNDC (ang. DeNitrification – DeComposition) została opisana szczegółowo przez Li i in. w roku 1992. Pozwala ona na symulację emisji podtlenku azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ) i azotu ( $\text{N}_2$ ) z gleb rolniczych [18]. Dodatkowo, model ten symuluje również: koncentrację azotanów, azotynów, amonu; ilość pozostałości organicznych, biomasy mikrobiologicznej, próchnicy stałej, węgla rozpuszczalnego; wielkość mineralizacji C i N oraz wymycia azotanów; emisje dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) oraz amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) z gleby. Model ten składa się z trzech współpracujących ze sobą submodeli: warunków termiczno-wodnych, dekompozycji oraz denityfikacji [18]. Jako danych wejściowych wymaga:

- informacji na temat warunków meteorologicznych (dobowa średnia temperatura powietrza, opad atmosferyczny, koncentracja  $\text{NH}_3^-$  w opadzie),
- charakterystyki gleby (typ; gęstość; pH; początkowa zawartość: resztek poźniwnych, węgla organicznego, azotanów i kationów amonowych; początkowa temperatura i wilgotność gleby),
- charakterystyki użytkowania terenu (typ uprawy oraz daty siewu i zbioru),
- informacji o zabiegach agrotechnicznych (uprawa gleby; nawożenie mineralne: rodzaj, ilość, data, głębokość; nawożenie obornikiem: typ, ilość, data; nawadnianie: ilość, data; zmianowanie).

Submodel warunków termiczno-wodnych odczytuje dobowe wartości elementów meteorologicznych z pliku wejściowego. Następnie wykonuje m.in. obliczenia strumieni ciepła glebowego i przepływu wody w glebie z których oblicza godzinowe i dobowe temperatury i wilgotności gleby w profilu. Profil ten należy rozumieć jako układ warstw gleby o grubości 2 cm, w których występują homogeniczne warunki termiczne i wilgotnościowe. Dane z submodelu warunków termiczno-wilgotnościowych wykorzystywane są przez submodele denitryfikacji oraz dekompozycji. Podczas stanu natlenienia gleby dominującym procesem jest dekompozycja materii organicznej oraz inne procesy utleniania, m.in. nityfikacja. Obliczenia w submodelu dekompozycji wykonywane są z krokiem dobowym. W przypadku wystąpienia opadu atmosferycznego submodel dekompozycji zaprzestaje symulacji rozkładu materii organicznej, natomiast rozpoczyna pracę submodel denitryfikacji. Submodel ten pracuje z krokiem godzinowym do czasu gdy gleba osiągnie porowatość wierzchniej warstwy (20 cm) poniżej 40%, lub maksymalnie przez okres dziesięciu dni. Następnie denitryfikacja ustaje z powodu wyczerpania substratów w glebie. Po tym okresie, submodel dekompozycji wznowia swoją pracę. Powyższy opis w bardzo dużym uproszczeniu przedstawia schemat działania pierwotnego modelu DNDC [18]. Należy wspomnieć, iż w tej wersji modelu DNDC założono brak możliwości wystąpienia spływu powierzchniowego, natomiast jako początek wystąpienia opadu przyjęto północ.

W następnych latach rozwijano model, w efekcie czego powstało wiele wersji skupionych na wybranym ekosystemie, czy też pozwalających symulować wybrane procesy biogeochemiczne. Były to m.in.: Fo-

rest-DNDC [17, 31], Wetland-DNDC [34], PnET-N-DNDC [13] i Manure-DNDC [19]. Powstały również dwie wersje modelu pozwalające symulować procesy zachodzące w ekosystemach rolniczych, leśnych oraz podmokłych. Były to MoBiLE-DNDC [4] oraz opisany w 2012 roku LandscapeDNDC [10].

W niniejszej pracy wykorzystano wspomniany modułowy model LandscapeDNDC [10]. Jest on zbudowany z sześciu modułów częściowo opartych na wynikach wcześniejszych prac nad innymi modelami z rodziny DNDC. Moduły te to: chemia powietrza, mikroklimat, fizjologia roślin, struktura wegetacji (tylko symulacja leśnego środowiska), cykl wodny oraz biogeochemia gleby [12, 17, 18, 31]. Poszczególne moduły mogą być wybrane z listy dostępnych w danej wersji modelu, bądź też w przypadku ich braku mogą zostać „dopisane” do kodu źródłowego modelu.

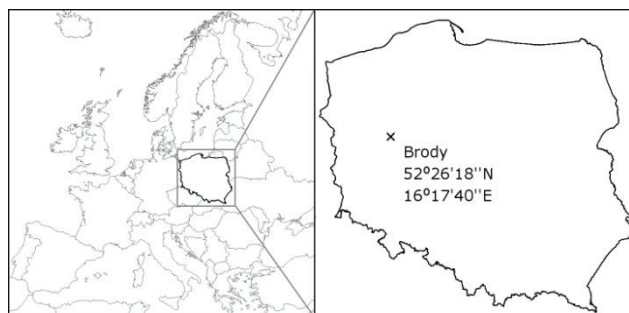
W modelu tym zintegrowano w jeden moduł elementy dotyczące procesów biogeochemicznych zarówno z pierwotnego modelu DNDC wykorzystywanego do symulacji przebiegów procesów zachodzących w ekosystemach rolnych [18], jak również z modelu Forest-DNDC służącego do symulacji ekosystemów leśnych [17, 31]. Dzięki temu połączeniu jest on pierwszym modelem, który umożliwia symulację obiegu węgla i azotu w ekosystemach, zmian wielkości zasobów tych pierwiastków na stanowiskach rolniczych, łąkowych i leśnych. Połączono w ten sposób wersje modelu dla ekosystemów rolniczych/łąkowych oraz leśnych w jeden model mogący symulować zmiany użytkowania gruntu na danym stanowisku. Obecnie jest to jedyny model oparty na procesach biogeochemicznych mogący symulować m.in. zmianę z ekosystemu rolnego na leśny, czy też z ekosystemu leśnego na rolny, lub użytek zielony. Jest to odpowiedź na raport specjalny IPCC z roku 2000 [11] dotyczący emisji CO<sub>2</sub> wynikającej z konkretnych typów użytkowania gruntów oraz ich zmian na inne [10]. Z uwagi na symulowanie emisji/pochłaniania gazów cieplarnianych przez LandscapeDNDC może on w przyszłości być przydatny w corocznej inwentaryzacji gazów cieplarnianych wykonywanej zgodnie z zaleceniami IPCC, lub posłużyć do określenia dokładniejszych współczynników emisji.

Model ten umożliwia wykonanie symulacji zarówno w skali lokalnej, jak i regionalnej. Nowością jest kolejność wykonywania symulacji przez model dla konkretnych gridów mapy. Symulacje w trybie regionalnym są wykonywane symultanicznie we wszystkich gridach [10].

Dzięki temu dane wyjściowe mają ten sam czas powstania, co ułatwia ich dalsze przetwarzanie.

## 2.2. Opis stanowiska pomiarowego w Brodach

Obszar analiz znajduje się na terenie Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Brodach (własność Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu) zlokalizowanej w województwie wielkopolskim, powiecie nowotomyskim, gminie Lwówek:  $52^{\circ}26'18''\text{N}$ ,  $16^{\circ}17'40''\text{E}$  (rys. 1).



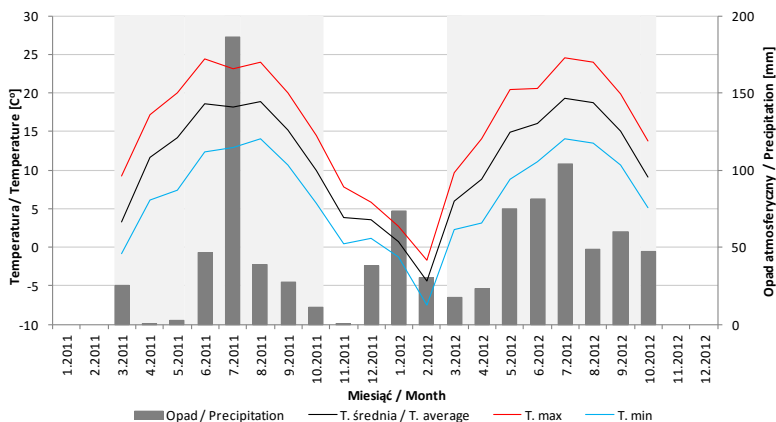
**Rys. 1.** Lokalizacja stacji doświadczalnej w Brodach

**Fig. 1.** Localization of experimental plots at Brody site

Stanowisko to jest częścią doświadczenia polowego trwającego nieprzerwanie od roku 1957 charakteryzującego się regularnym zmianowaniem (7 gatunków roślin w 11 systemach nawożenia). Jest dla niego prowadzona bardzo szczegółowa dokumentacja dotycząca zabiegów agrotechnicznych (nawożenie, uprawa gleby, zabiegi środkami ochrony roślin). Doświadczenie usytuowane jest na glebie klasyfikowanej przez FAO jako Albic Luviosols (Typic Hapludalfs według USA Soil Taxonomy), o  $\text{pH} = 6,0$  oraz zawartości frakcji poniżej  $0,02 \text{ mm}$  w wysokości średnio  $12\%$  [2].

Pomiary automatyczne podstawowych parametrów meteorologicznych rozpoczęto od marca 2011 roku. Są to m.in.: temperatura powietrza na wysokości  $30$  i  $200 \text{ cm}$ ; temperatury gleby na głębokości  $2, 5, 10$  oraz  $20 \text{ cm}$ ; opad; głębokość zalegania wód gruntowych; promieniowanie fotosyntetycznie aktywne; siła ssąca oraz wilgotność objętościowa gleby (SWC) [29]. Wilgotność objętościowa gleby mierzona jest w trzech powtórzeniach na głębokości  $10 \text{ cm}$  (CS-616, Campbell Sci., USA).

Dane wejściowe dotyczące elementów meteorologicznych zaimplementowane do modelu w niniejszej pracy to skontrolowane jakościowo [25] dobowe dane meteorologiczne: temperatura średnia, temperatura maksymalna i minimalna, opad atmosferyczny (rys. 2) oraz prędkość wiatru.



**Rys. 2.** Średnia miesięczna temperatura powietrza oraz sumy opadu na stanowisku badawczym (szare tło: marzec–październik)

**Fig. 2.** Monthly temperatures (average, maximum, minimum) and precipitation sums at Brody site (grey backgrounds: March–October)

Wykonane symulacje w modelu LandscapeDNDC obejmują okres od 2010 do 2012 roku. Natomiast w pracy skupiono się na okresie od 28 marca do 13 sierpnia 2012 roku. Wybrano pięć poletek eksperymentalnych, na których uprawiano w roku 2012: lucernę dwuletnią, ziemniaki, pszenice ozimą, żyto oraz jęczmień jary w kombinacji nawozowej zawierającej azot ( $90 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), fosfor ( $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), potas ( $120 \text{ kg/ha K}_2\text{O ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) oraz Ca – CaO ( $1,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Rysunek 3 przedstawia zmianowanie uprawianych roślin na pięciu wybranych poletkach eksperymentalnych (od I do V) w okresie 2010–2012. Natomiast w roku 2011 na poletkach od II do IV uprawiano rośliny ozime zasiane w roku 2010. Tak więc symulacje obejmują rok 2010 oraz 2011 z uwagi na uwzględnienie roślin uprawianych bezpośrednio przed okresem w roku 2012. Na rys. 3 określono również czas siewu i zbioru poszczególnych roślin poprzez ich rozmieszczenie w pionie na danym poletku w okresie od 2010 do 2012 roku.

Rok Year	Poletka doświadczalne / Experimental plots				
	I	II	III	IV	V
2010					
2011	LUCERNA ALFALFA	ŻYTO RYE	LUCERNA ALFALFA	PSZENICA OZIMA WINTER WHEAT	ZIEMNIAKI POTATO
2012		ZIEMNIAKI POTATO	PSZENICA OZIMA WINTER WHEAT	ŻYTO RYE	JĘCZMIEN JARY SPRING BARLEY

**Rys. 3.** Zmianowanie na poletkach doświadczalnych w latach 2011–2012

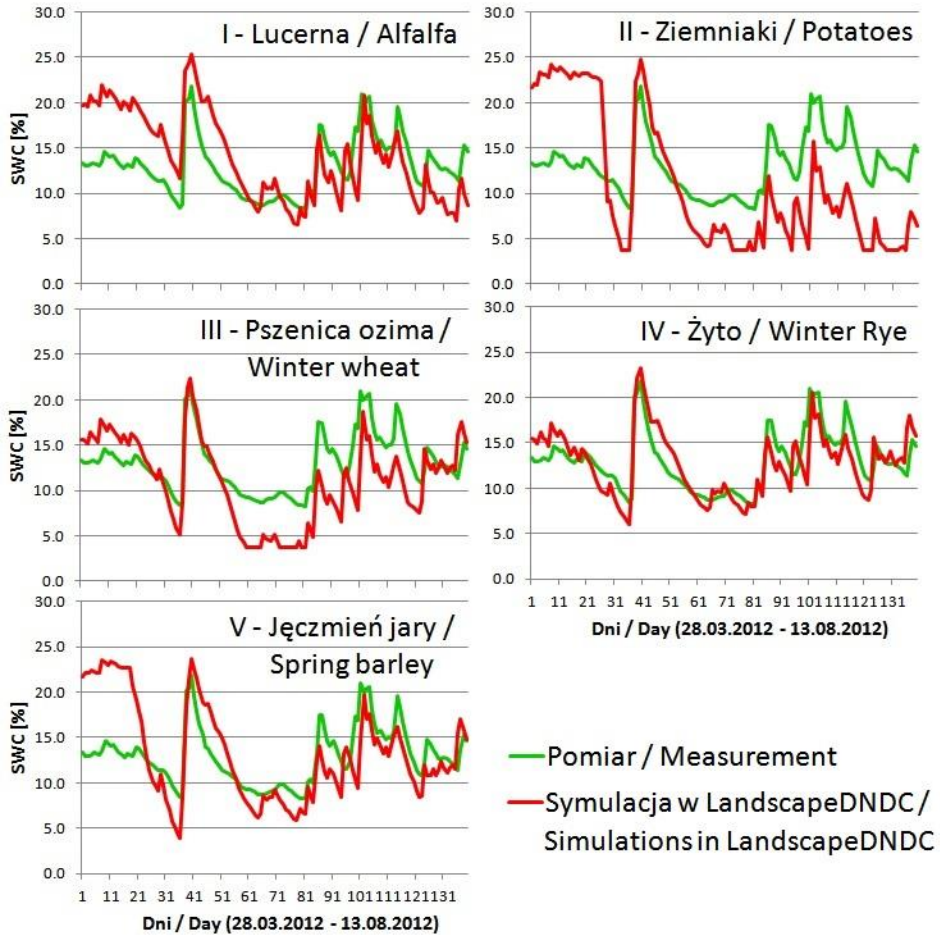
**Fig. 3.** Crop rotation at experimental plots, in the years 2011–2012

W pracy oceniono poprawność symulowanych dobowych zawartości wody w glebie na głębokości 10 cm od 28 marca do 13 sierpnia 2012 roku oraz symulowanych rocznych wielkości otrzymanego plonu roślin z wartościami zmierzonymi..

### 3. Wyniki i dyskusja

#### 3.1. Zawartość wody w glebie (soil water content – SWC)

Symulowane zawartości wody w glebie w porównaniu do danych zmierzonych przedstawiono na rys. 4 oraz w tab. 1. Średnia zmierzona zawartość wody w glebie wynosiła w okresie od 28 marca do 13 sierpnia 2012  $12,95 \pm 0,52\%$  (95% przedział ufności). Jest to wartość uzyskana z pomiarów polowych wykonywanych w obrębie automatycznej stacji meteorologicznej usytuowanej w odległości od 20 do 60 metrów od poletek eksperymentalnych. Obszar ten w latach 2011/2012 był porośnięty niską roślinnością (rośliny jedno i dwuliścienne).



**Rys. 4.** Symulowana zawartość wody w glebie na poszczególnych poletkach eksperymentalnych w okresie od 28 marca do 13 sierpnia 2012 roku

**Fig. 4.** Soil water content simulations in the experimental plots, in the period 28 March–12 August 2012

Najdokładniejsze wyniki symulacji SWC uzyskano dla poletka IV obsianego żytem ozimym (SWC = 12,78%). Symulacja ta charakteryzuje się najmniejszym odchyleniem standardowym wynoszącym 3,49% oraz najmniejszym pierwiastkiem błędu średniokwadratowego (Root mean squared error – RMSE) równym 2,16%. Symulowane wartości są wysoce skorelowane z wartościami mierzonymi ( $r = 0,79$ ). Również wyniki



SWC dla poletka III obsianego pszenicą ozimą charakteryzują się nie dużym odchyleniem standardowym równym 4,62% oraz RMSE równym 3,75%. W obu powyższych przypadkach wartości SWC wysymulowano poprawnie z tego względu, iż również na obszarze stacji pomiarowej w okresie marca 2012 występowała roślinność. Poszczególne wartości SWC przedstawiono w tab. 1 natomiast wyniki symulacji z poletka IV (żyto ozime) oraz III (pszenica ozima) będących najbliższej wartości rzeczywistych zilustrowano na rys. 5.

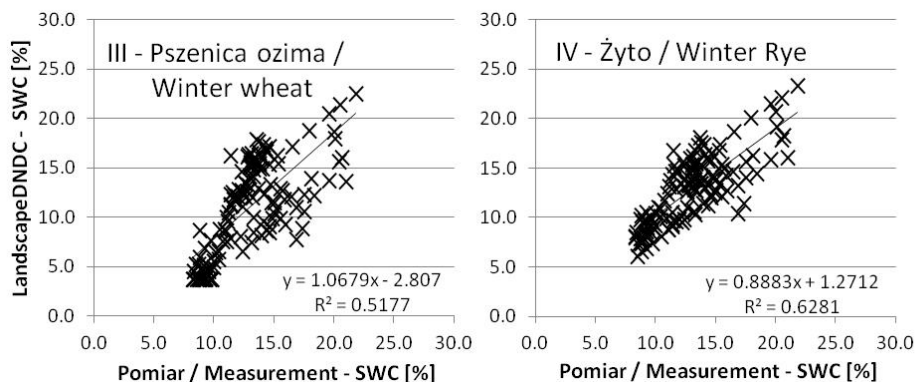
**Tabela 1.** Symulowana zawartość wody w glebie (SWC) dla pięciu poletek eksperymentalnych w porównaniu do danych pomiarowych.

**Table 1.** Soil water content (SWC) simulated by LandscapeDNDC for five experimental plots comparison with measurements data sets.

	Zawartość wody w glebie: głębokość: – 10 cm [%] Soil water content: depth: – 10 cm [%]				
Poletka doświadczalne Experimental plots	Landscape DNDC	Odch. st. St. Dev. $\sigma$	$\Delta_{(DNDC-pomiar)}$ $\Delta_{(DNDC-measurement)}$	RMSE	R <sup>2</sup>
I–Lucerna / Alfalfa	14,14	4,77	1,19	4,23	0,29
II–Ziemniaki / Potatoes	10,87	7,29	-2,09	6,94	0,18
III–Pszenica ozima / Winter wheat	11,03	4,62	-1,93	3,75	0,52
IV–Żyto ozime / Winter rye	12,78	3,49	-0,18	2,16	0,63
V–Jęczmień jary / Spring barley	13,33	5,36	0,37	4,28	0,37

Występujące rozbieżności wyników symulacji SWC z pomiarami, na terenie automatycznej stacji, szczególnie dla poletek lucerny oraz ziemniaków wynikają głównie z różnic w wielkości ewapotranspiracji co z kolei spowodowane było różnym tempem rozwoju roślin pokrywających poszczególne poletka.

W porównaniu do wartości średniej SWC równej  $12,95 \pm 0,52\%$ , która została zmierzona na stacji doświadczalnej w Brodach RMSE dla SWC na poszczególnych poletkach wynosił od 2,16% (poletko IV – żyto ozime) do 6,94% (poletko II – ziemniaki), średnio 4,27%. Średnia wartość SWC z pięciu poletek eksperymentalnych to  $12,43 \pm 0,85\%$ .



**Rys. 5.** Porównanie pomiarów polowych SWC do wartości symulowanych w okresie 28 marzec–13 sierpień 2012 roku (poletko III i IV)

**Fig. 5.** Comparison of measured data with simulated SWC in the period 28 March–12 August 2012 (plot III and IV)

### 3.2. Plonowanie roślin

Istotnymi wynikami symulacji są dane wyjściowe dotyczące rozwoju roślin i ilości otrzymanego plonu w suchej masie (m in.: plon ziarna, bulw, drewna, czy też liści). Wynikami, które można porównać z wartościami zmierzonymi są wielkości plonu głównego roślin uzyskanego na poszczególnych poletkach doświadczalnych. Symulacje wykonane w LandscapeDNDC dostarczyły wyniki plonów w wielkości od 64,4 do 116,1% uzyskanego plonu. Najlepiej wysymulowany został plon jęczmienia jarego, następnie lucerny, pszenicy ozimej oraz ziemniaków (tab. 2). Plon jęczmienia jarego wysymulowano na poziomie 100,2% otrzymanego plonu. Jest to najlepiej symulowana wartość na wszystkich pięciu poletkach eksperymentalnych. Drugi pod względem bliskości do plonu otrzymanego jest symulowany plon lucerny równy 100,6% plonu otrzymanego.

Zmierzona wielkość plonu żyta ozimego ( $7,1 \text{ t ha}^{-1}$ ) odbiega od średniej krajowej wynoszącej  $2,4 \text{ t ha}^{-1}$  w latach od 1999 do 2011 [GUS]. Tak duży plon otrzymany na poletku doświadczalnym jest niespotykany w warunkach gospodarskich, czego wynikiem jest jego niedoszacowanie przez model.

**Tabela 2.** Plon główny roślin symulowany w LandscapeDNDC oraz zmierzony  
**Table 2.** Simulated mean yields using LandscapeDNDC and measured

Poletka doświadczalne / Experimental plots	Plon / Yield Land- scapeDNDC [Mg s.m. ha <sup>-1</sup> ]	Plon zmierzony / Measured yield [Mg s.m. ha <sup>-1</sup> ]	Plon symulow- any / Simulated yield [Measured yield = 100%]
I–Lucerna Alfalfa	27,8	27,6	100,6
II–Ziemniaki Potatoes	7,5	6,5	116,1
III–Pszenica ozima Winter wheat	6,1	5,9	105,1
IV–Żyto ozime Winter rye	4,6	7,1	64,4
V–Jęczmień jary Spring barley	3,7	3,7	100,2

#### 4. Podsumowanie

Otrzymane dane wyjściowe dotyczące symulowanej zawartości wody w glebie pozwalają stwierdzić, iż model LandscapeDNDC bardzo dobrze symuluje warunki wodne gleby na stanowiskach rolniczych. Symulacje dla poletek żyta ozimego i pszenicy ozimej charakteryzowały się najlepszym dopasowaniem danych wyjściowych SWC do danych pomiarowych natomiast najgorszy wynik pochodził z symulacji SWC dla poletka ziemniaków. Jednak rozbieżności te wynikają z faktu, iż czujniki SWC znajdowały się pod glebą porośniętą przez niską i bujną roślinność o innym cyklu rozwojowym niż uprawa ziemniaka dla której zanotowano największe rozbieżności. Należy uznać że również plon poszczególnych upraw został wymodelowany na dobrym poziomie. Wyjątek stanowił niedoszacowany symulowany plon żyta ozimego, którego uzyskany plon rzeczywisty wynosił blisko trzykrotność średniej krajowej plonu żyta.

## Literatura

1. **Baldocchi D., Valentini R., Running S., Oechel W., Dahlman R.:** *Strategies for measuring and modeling carbon dioxide and water vapour fluxes over terrestrial ecosystems*. *Global change biology*. Vol. 2, 159–168 (1996).
2. **Blecharczyk A.:** *Reakcja żyta ozimego i jęczmienia jarego na system nawożenia w doświadczeniu wieloletnim*. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Rozprawy naukowe. Zeszyt 236* (2002).
3. **Bogner J., Spokas K., Burton E., Sweeney R., Corona V.:** *Landfills as atmospheric methane sources and sinks*. *Chemosphere*. Vol. 31, no. 9, 4119–4130 (1995).
4. **Chirinda N., Kracher D., Laegdsmand M., Porter J.R., Olesen J.E., Petersen B.M., Doltra J., Kiese R., Butterbach-Bahl K.:** *Simulating soil N<sub>2</sub>O emissions and heterotrophic CO<sub>2</sub> respiration in arable systems using FASSET and MoBiLE-DNDC*. *Plant and soil*. Vol. 343, 139–160 (2011).
5. **Cole C.V., Flach K., Lee J., Sauerbeck D., Stewart B.:** *Agricultural sources and sinks of carbon*. *Water, air, and soil pollution*. Vol. 70, 111–122 (1993).
6. **Denman K.L., Brasseur G., Chidthaisong A., Ciais P., Cox P.M., Dickinson R.E., Hauglustaine D., Heinze C., Holland E., Jacob D., Lohmann U., Ramachandran S., da Silva Dias P.L., Wofsy S.C., Zhang X.** *Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry*. W: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Red. S. Solomon et al.). Cambridge University Press, 2007.
7. **Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P., Berntsen T., Betts R., Haywood D.W., Lean J., Lowe D.C., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schulz M., Van Dorland R.:** *Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing*. W: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Red. S. Solomon et al.), Cambridge University Press. 2007 [online: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>]
8. **Freney J.R.:** *Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 49, 1–6 (1997).
9. GUS. online: [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl)
10. **Haas E., Klatt S., Frohlich A., Kraft P., Werner C., Kiese R., Grote R., Breuer L., Butterbach-Bahl K.:** *LandscapeDNDC: a process model for simulation of biosphere–atmosphere–hydrosphere exchange processes at site and regional scale*. *Landscape ecology*, 2012.

11. **IPCC.**: *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Red. Eggleston S, Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., 2006.
12. **Kiese R., Heinzeller C., Werner C., Wochele S., Grote R., Butterbach-Bahl K.**: *Quantification of nitrate leaching from German forest ecosystems by use of a process oriented biogeochemical model*. Environmental Pollution. Vol. 159, 3204–3214 (2011).
13. **Kiese R., Li C., Hilbert D.W., Papen H., Butterbach-Bahl K.**: *Regional application of PnET-N-DNDC for estimating the N<sub>2</sub>O source strength of tropical rainforests in the Wet Tropics of Australia*. Global Change Biology. Vol. 11, 128–144 (2005).
14. **KOBIZE**: *Krajowy raport inwentaryzacyjny 2011*. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988–2009. 2011. [online: [http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje\\_krajowe/NIR\\_2011\\_Polska\\_25.05.2011.pdf](http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje_krajowe/NIR_2011_Polska_25.05.2011.pdf)]
15. **KOBIZE**: *Poland's national inventory report 2010*. Greenhouse Gas Inventory for 1988–2008. 2010. [online: [http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje\\_krajowe/](http://www.kashue.pl/materialy/Inwentaryzacje_krajowe/)]
16. **Leśny J.**: *Bilans cieplny powierzchni czynnej wybranych upraw w Wielkopolsce*. Rozprawy naukowe. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Zeszyt 429 (2011).
17. **Li C., Aber J., Stange F., Butterbach-Bahl K., Papen H.**: *A process-oriented model of N<sub>2</sub>O and NO emissions from forest soils: 1 model development*. Journal of geophysical research. Vol. 105, 4369–4384 (2000).
18. **Li C., Frolking S., Frolking T.A.**: *A model of nitrous-oxide evolution from soil driven by rainfall events. 1. Model structure and sensitivity*. Journal of Geophysical Research. Vol. 97, 9759–9776 (1992).
19. **Li C., Salas W., Zhang R., Krauter C., Rotz A., Mitloehner F.**: *Manure-DNDC: a biogeochemical process model for quantifying greenhouse gas and ammonia emissions from livestock manure systems*. Nutrient Cycling in Agroecosystems. Vol. 93, 163–200 (2012).
20. **Maljanen M., Hytonen J., Martikainen P.J.**: *Fluxes of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> on afforested boreal agricultural soils*. Plant and soil. Vol. 231, 113–121 (2001).
21. **Mihailovic D.T., Lalic B., Leśny J., Olejnik J.**: *Modeling surface fluxes over a sparse vegetation*. Archives of Biological Sciences. Vol. 64, 1533–1542 (2012).
22. **Mihailovic D.T., Lazic J., Leśny J., Olejnik J., Lalic B., Kapor D., Cirisan A.**: *A new design of the LAPS land surface scheme for use over and through heterogeneous and non-heterogeneous surfaces: Numerical simulations and tests*. Theor. Appl. Climatol. Vol. 100, 299–323 (2010).

23. **Mosier A.R.:** *Nitrous oxide emissions from agricultural soils*. Fertilizer Research. Vol. 37, 191–200 (1994).
24. **Norman J.M., Kucharik C.J., Gower S.T., Baldocchi D.D., Crill P.M., Rayment M., Savage K., Striegl R.G.:** *A comparison of six methods for measuring soil-surface carbon dioxide fluxes*. Journal of Geophysical Research. Vol. 102, 28771–28777 (1997).
25. **Nyćkowiak J., Leśny J.:** *Verification of data quality from automatic weather stations*. Acta Agrophysica. Vol. 184, 218–228 (2010).
26. **Nyćkowiak J.:** *Rola N<sub>2</sub>O w efekcie cieplarnianym*. Doktorant a innowacyjność podejmowanych tematów badań. Cz. 2. CreativeTime. 2011.
27. **Ravishankara A.R., Daniel J.S., Portmann R.W.:** *Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21<sup>st</sup> Century*. Science. Vol. 326, no. 5949, 123–125 (2009).
28. **Robertson G.P., Groffman P.:** *Nitrogen transformations*. W: Soil microbiology, ecology, and biochemistry. Elsevier. New York. 341–364 (2007).
29. **Sakowska K., Juszczak R., Uździcka B., Olejnik J.:** *Zmienność dobowa strumieni CO<sub>2</sub> wymienianych między atmosferą a różnymi uprawami rolniczymi*. Woda-Środowisko-Obszary wiejskie. t. 12, z. 2, 221–244 (2012).
30. **Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O.:** *Agriculture*. W: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Metz B., Davidson O.R., Bosch P.R., Dave R., Meyer L.A.). Cambridge University Press, 2007.
31. **Stange F., Butterbach-Bahl K., Papen H., Zechmeister-Boltenstern S., Li C., Aber J.:** *A process-oriented model of N<sub>2</sub>O and NO emissions from forest soils: 2 sensitivity analysis and validation*. Journal of geophysical research. Vol. 105, 4385–4398 (2000).
32. **Swinbank W.C.:** *The measurement of vertical transfer of heat and water vapour by eddies in the Lower atmosphere*. Journal of Meteorology. Vol. 8, 135–145 (1951).
33. **Topp E. i Pattey E.:** *Soils as sources and sinks for atmospheric methane*. Canadian journal of soil science. Vol. 77, 167–178 (1997).
34. **Zhang Y., Li C., Trettin C.C., Li H., Sun G.:** *An integrated model of soil, hydrology, and vegetation for carbon Dynamics in wetland ecosystems*. Global Biogeochemical Cycles. Vol. 16, No. 4, 1–17 (2002).

## **Application of LandscapeDNDC Model for Simulating Soil Water Content and Crop Yield Quantity**

### **Abstract**

The purpose of the work was to assess the results of simulation of soil water content (SWC) and the simulated crop yield quantity using a module LandscapeDNDC model which belongs to the family of DNDC models. The assessment was conducted on the outcome data gathered during the simulation carried out in the experimental plots of Agricultural Experimental Station in Brody (nearby Poznań, Poland) in the period of 28 March to 13 August 2012. The crops grown in the experimental fields were as follows: alfalfa, potatoes, winter wheat, rye and spring barley.

Average daily content of water in the soil at the depth of 10 cm from 28 March to 13 August 2012 was  $12.95 \pm 0.52\%$  (CI = 95%). This value was measured by the sensors installed in the automatic measurement site located 20–60 meters from individual experimental fields. This area in 2011/2012 was overgrown by low vegetation (monocotyledons and dicotyledons).

Simulated average value of SWC for the experimental plots in the same period was  $12.43 \pm 0.85\%$ . These results lead to a conclusion that the model correctly simulates water conditions of the soil.

Simulations conducted in LandscapeDNDC brought the crop yield results which amounted from 64.4 to 116.1% of the specific actual crop yield. The crop yield quantity of spring barley was simulated most accurately, then the crops of alfalfa, winter wheat and potatoes. The measured quantity of winter rye crop yield ( $7.1 \text{ t ha}^{-1}$ ) differs from national average quantity which was  $2.4 \text{ t ha}^{-1}$  in the years from 1999 to 2011. Such a big crop yield obtained in the experimental plot is rare in farming conditions, which results in the overestimation of the crop yield quantity by the model.