

Wiesław Mądry¹, Maciej Piotrowski¹,

Jan Rozbicki², Maria Kalinowska-Zdun², Zdzisław Wyszyński²

¹Katedra Statystyki Matematycznej i Doświadczalnictwa SGGW w Warszawie,

²Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin SGGW w Warszawie

Zastosowanie modelowania symulacyjnego roślin uprawnych na przykładzie modelu EPIC

Część II. Zastosowania modelu*

Krótki opis modelu EPIC

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie krótkiego opisu modelu EPIC z uwzględnieniem podmodelu roślinnego oraz przegląd literatury ukazującej rozległość zastosowań modelu EPIC w różnych zagadnieniach naukowo-badawczych z zakresu szeroko rozumianej produkcji roślinnej i ochrony środowiska rolniczego.

Model symulacyjny EPIC (dawniej nazywany w języku angielskim "Erosion Productivity Impact Calculator", obecnie zaś "Environmental Policy Integrated Climate") jest prostym deterministycznym modelem mechanistyczno-empirycznym. Został stworzony we wczesnych latach osiemdziesiątych przez naukowców pracujących w Służbach ds. Badań Rolniczych (ARS — Agricultural Research Service), Służbach ds. Ochrony Gleby (SCS — Soil Conservation Service) i Służbach ds. Badań Ekonomicznych (ERS — Economic Research Service), pracujących na rzecz Ministerstwa Rolnictwa USA [9, 10, 11]. Skonstruowano go specjalnie w celu oceny strat produktywności roślin uprawnych spowodowanych erozją gleb. Jest to model ogólny, czyli wszechstronny, symulujący procesy zarówno środowiskowe, jak i roślinne na poziomie pola w jednym sezonie oraz w systemach uprawowych i rolniczych. Składa się z wielu pod modeli: hydrologicznego, pogodowego, pokarmowego, erozyjnego, uprawowego i pod modeli roślinnych. Aktualnie jest on zaopatrzony w podmodele roślinne dla ponad 20 gatunków roślin uprawnych.

Poniższy opis obejmuje tylko zarys podmodelu wzrostu i rozwoju łanu roślin uprawnych oraz plonowania w modelu EPIC [10, 12].

Wzrost łanu jest symulowany z jednodniowym krokiem czasowym na podstawie:

* Praca została wykonana w ramach grantu KBN Nr PO6B 005 09.

- I. Pierwszej pochodnej potencjalnego tempa wzrostu suchej masy roślin jako funkcji wskaźnika powierzchni liści (LAI), czyli stosunku powierzchni zielonych liści łanu do jednostki powierzchni gleby, na której łan rośnie, względem jego stanu w poprzednim dniu i zmiennych pogodowych, które są obliczane w zależności od:
 - A) oceny zapotrzebowania rośliny na wodę i składniki pokarmowe potrzebne do osiągnięcia potencjalnego tempa wzrostu,
 - B) oceny bieżącego zaopatrzenia roślin w wodę i składniki pokarmowe pochodzące z gleby z uwzględnieniem wskaźników stresowych (w zakresie od 0 do 1) określających ich niedobory.
- II. Wyboru wartości minimalnej wskaźników stresowych jako najbardziej ograniczających tempo wzrostu i będących czynnikiem stresowym decydującym w danym dniu symulacji.
- III. Wykorzystania tego wskaźnika stresu do oceny obniżenia potencjalnego tempa wzrostu w danym dniu i uzyskania rzeczywistego tempa wzrostu.

Model ten symuluje określone procesy roślinne i środowiskowe na podstawie wprowadzonych do programu komputerowego dokładnych danych o warunkach środowiskowych łanu. Dane te, nazywane zwykle danymi wejściowymi do modelu (ang. *input data*), dotyczą informacji geograficznych (współrzędnych długości i szerokości), zmiennych pogodowych, zmiennych glebowych, zmiennych uprawowych oraz parametrów roślinnych, charakteryzujących genetycznie warunkowane własności fizjologiczne gatunku, a nawet odmiany rośliny uprawnej.

Zmiennymi wejściowymi, które odgrywają dominującą rolę w podmodelu wzrostu łanu modelu EPIC są: temperatura powietrza i promieniowanie słoneczne. Wskaźnik powierzchni liści (LAI) jest główną zmienną wewnętrzną, charakteryzującą wzrost łanu. Niedobory (stresy) środowiskowe mogą ograniczać wzrost roślin poprzez redukcję narastania wartości LAI i dynamiki wzrostu biomasy roślin. Indeks żniwny podlega, w trakcie trwania sezonu wegetacyjnego, wyłącznie wpływowi stresu wodnego. W celu obliczenia wartości LAI cykl rozwojowy rośliny podzielono na dwa okresy: pierwszy trwający od wschodów do początku spadku krzywej LAI i drugi od początku spadku krzywej tego wskaźnika do końca okresu wegetacji lub dojrzałości fizjologicznej.

W pierwszym okresie, wartość LAI dla i -tego dnia (LAI_i) jest sumą jego wartości z poprzedniego dnia (LAI_{i-1}) i dziennej różnicy LAI (ΔLAI_i). Formalnie zależność tę można przedstawić w następujący sposób:

$$LAI_i = LAI_{i-1} + \Delta LAI_i$$

Dla drugiej części okresu wegetacji wskaźnik LAI jest szacowany według zależności:

$$LAI_i = LAI_0 \left(\frac{1 - HUI_i}{1 - HUI_0} \right)^d$$

gdzie: LAI_0 — wartość wskaźnika LAI na początku spadania jego krzywej,

HUI_0 — względna suma kumulatywna jednostek ciepłych (temperatur efe-

ktywnych) na początku spadania krzywej LAI ,

d_j — parametr określający kształt i tempo spadku LAI dla j -tego gatunku,

HUI_i — względna suma kumulatywna jednostek cieplnych (temperatur efektywnych) w i -tym dniu.

Względna suma temperatur efektywnych w i -tym dniu jest określona za pomocą wzoru:

$$HUI_i = \frac{\sum_{n=1}^i HU_n}{PHU_j}$$

gdzie: PHU_j — potencjalna suma temperatur efektywnych dla j -tego gatunku roślin uprawnych,

HU_n — temperatura efektywna w n -tym dniu przed upływem i -tego dnia wegetacji.

Wartość zmiennej HU_n jest określona za pomocą wzoru:

$$HU_n = \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_{b,j}$$

gdzie: $T_{b,j}$ — temperatura progowa dla j -tego gatunku roślin uprawnych, poniżej której wzrost roślin jest zahamowany,

T_{\max}, T_{\min} — temperatura maksymalna i minimalna w n -tym dniu.

LAI wykorzystywany jest w modelu do określenia potencjalnego dziennego przyrostu biomasy roślin z jednostki powierzchni na podstawie ilości pochłoniętego przez łąn promieniowania fotosyntetycznie czynnego dla i -tego dnia ($IPAR_i$) wyznaczonego według równania:

$$IPAR_i = fR_{s_i} (1 - e^{-kLAI_i})$$

gdzie: R_{s_i} — promieniowanie całkowite w i -tym dniu,

k — współczynnik ekstynkcji promieniowania w łąnie,

f — stała określająca udział promieniowania syntetycznie czynnego w promieniowaniu R_{s_i}

LAI_i — wskaźnik powierzchni liści dla i -tego dnia.

Potencjalny przyrost całkowitej suchej masy roślin z jednostki powierzchni w i -tym dniu ($\Delta DM_{p,i}$) określony jest za pomocą równania:

$$\Delta DM_{p,i} = \varepsilon_j IPAR_i DL$$

gdzie: ε_j — współczynnik przemiany zaabsorbowanego promieniowania fotosyntetycznie czynnego w biomasę roślin (zwanym inaczej efektywnością wykorzystania promieniowania słonecznego),

DL — współczynnik określający wpływ długości dnia na potencjalne tempo

wzrostu (wartości tego parametru mają większy wpływ na tempo wzrostu wiosną niż w pełni sezonu wegetacyjnego).

Potencjalny przyrost całkowitej suchej masy roślin w i -tym dniu ($\Delta DM_{p,i}$) jest sprowadzany do przyrostu rzeczywistego (ΔDM_i) przy użyciu wskaźnika stresu według następującej formuły:

$$\Delta DM_i = s_i \Delta DM_{p,i}$$

Zdefiniowany dla i -tego dnia potencjalny przyrost całkowitej suchej masy roślin jest dzielony liniowo na potencjalne dzienne przyrosty suchej masy korzeni (ΔRW_i) według wzoru:

$$\Delta RW_i = \Delta DM_{p,i} (0,4 - 0,2 HUI_i)$$

Z różnicy pomiędzy policzonym potencjalnym plonem całkowitej suchej masy roślin z jednostki powierzchni dla okresu wegetacji (DM_p) i potencjalną suchą masą korzeni (RW_p) otrzymuje się potencjalny plon całkowity suchej masy nadziemnej ($DM_{p,ag}$). Potencjalny plon rolniczy z jednostki powierzchni (Y_p) obliczany jest ze wzoru:

$$Y_p = HI DM_{p,ag}$$

gdzie: HI — indeks żniwny dla danej rośliny uprawnej.

Przy kwantyfikacji ograniczeń potencjalnego wzrostu roślin, wynikających z zaistnienia warunków stresowych, a powodujących zmniejszenie potencjalnego tempa wzrostu w stosunku do rzeczywistego, najważniejsza jest zasada "zapotrzebowania" i "zaopatrzenia" roślin w czynniki, na które łąn jest wrażliwy. Według tej zasady oblicza się odpowiednie wskaźniki stresowe dotyczące najważniejszych czynników zaopatrzenia roślin, tj. w wodę, ciepło i składniki pokarmowe. Wskaźniki stresowe obliczane przez EPIC dla każdego dnia osobno umożliwiają zmniejszenie potencjalnego tempa wzrostu w stosunku do czynnika najsilniej ograniczającego.

Zastosowania modelu EPIC

Model EPIC należy do grupy modeli stosunkowo często stosowanych jako wspomagające i uzupełniające narzędzie naukowo-badawcze w różnych dziedzinach produkcji roślinnej i agroekologii. Jest także wykorzystywany w projektowaniu, ocenie i analizie systemów uprawowych i rolniczych, pod kątem produkcyjnym, środowiskowym i społeczno-ekonomicznym. Służy także do badania wpływu pogody i agrotechniki na produktywność łąnu, na stopień ryzyka niepowodzenia produkcji i na zmniejszanie się zasobów glebowych.

Był stosowany i sprawdzany w bardzo różnych warunkach siedliskowych USA, Kanady, Hawajów, Francji, Włoch, Hiszpanii, Niemiec i Wielkiej Brytanii. Stosowa-

no go najczęściej, do symulowania zachowania roślin i środowiska w warunkach różnych płodozmianów.

Wykonano symulacje ponad 13000 kombinacji roślin, gleb, warunków klimatycznych, agrotechnik i metod ochrony gleb dla wielolecia obejmującego 100 lat. Wyniki symulacji zostały wykorzystane do opracowania modelu szacującego wpływy sposobów ochrony gleby przed erozją i erozji na produkcję rolniczą USA. Model EPIC był często używany do wykazania, że jakkolwiek długo wpływy erozji na produktywność łąnu są niewielkie, to proces ten znacznie zmniejsza stabilność plonowania i żyzność gleb [9, 10].

Ostatnio dodano do modelu EPIC podmodel pestycydowy umożliwiający symulację przemieszczania pestycydów i składników nawozowych w profilu glebowym i wodach powierzchniowych. Daje to możliwość symulacyjnego szacowania wpływów agrotechniki, gleb, zasobów wodnych, przemian fizykochemicznych w glebie i innych czynników plonotwórczych na produkcję roślinną.

Dodanie pewnych elementów modelu GLEAMS (Groundwater Leaching Effects on Agricultural Management Systems) umożliwiło symulację rozkładu i przemieszczania pestycydów w glebie, a udoskonalenie podmodelu nawożenia i obiegu składników nawozowych umożliwiło symulację działania różnorodnych nawozów pochodzenia organicznego i mineralnego oraz skażenia wody związkami azotowymi. Wymienione usprawnienia zawarte są w wersji 5300 modelu EPIC [10].

Poniżej omówiono niektóre zastosowania modelu symulacyjnego EPIC.

Prognozowanie i szacowanie plonowania łąnu w różnych warunkach siedliskowych i pod wpływem różnych czynników

Williams i in. [15] oceniał przydatność modelu EPIC do symulacji plonów kukurydzy, pszenicy, ryżu, słonecznika, jęczmienia i soi na podstawie 227 wyników zebranych niezależnie przez badaczy na całym świecie. Średnie symulowane dla tych roślin zawsze mieściły się w obrębie 7% względnego średniokwadratowego błędu prognozy (symulacji). Średnie obserwowane i symulowane nie były istotnie różne na poziomie istotności 0,05 dla każdego gatunku roślin. Autor wykazał, że model EPIC może dokładnie symulować reakcję kukurydzy na nawadnianie w zachodnich stanach USA i nawożenie azotowe na Hawajach.

Moulin i Beckie [8] badali zgodność symulacji produktywności łąnu pszenicy za pomocą modelu EPIC na terenie Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Melfort (prowincja Saskatchewan w Kanadzie). Na podstawie ponad 30-letnich, historycznych obserwacji polowych (przeprowadzonych w latach 1940–1971) plonowania monokultury pszenicy w różnych kombinacjach agrotechnicznych, autorzy otrzymali wyniki upoważniające do stwierdzenia przydatności modelu EPIC do symulacji plonu pszenicy jarej w warunkach Kanady.

Równie pozytywną ocenę uzyskał model EPIC w badaniach przeprowadzonych przez Toure i in. [14] w porównaniu z czterema innymi modelami, tj. CERES, Century, Sinclair i Steward. Celem pracy tych autorów było wybranie odpowiedniego modelu symulacyjnego do badań produktywności pszenicy jarej w warunkach przewidywanych zmian klimatu, jakie ewentualnie mogą wywołać gazy cieplarniane. Wyniki doświadczenia symulacyjnego porównano z wynikami uzyskanymi w wieloletnim doświadczeniu polowym rozpoczętym w roku 1911 na glebach wytworzonych z piasków ilasto-gliniastych w miejscowości Letherbridge w kanadyjskiej prowincji Alberta. Plony były symulowane (szacowane) przez badane modele i porównane z obserwowanymi plonami pszenicy jarej w trzech zmianowaniach: monokulturze, zmianowaniu ugór-pszenica i ugór-pszenica-pszenica. Model EPIC symulował wyniki najbliższe obserwowanych we wszystkich kombinacjach uprawowych, a w latach suchych (lata trzydzieste) najdokładniej przewidział średnie plony.

Steduto i in. [11] zastosowali model EPIC do symulacji krzywych *LAI*, suchej masy oraz plonu ziarna pszenicy twardej w południowych Włoszech. Do badania zgodności modelu wykorzystano wyniki eksperymentów polowych przeprowadzonych w jednej miejscowości w dwóch latach. Zastosowano w jednym roku cztery, w drugim zaś osiem kombinacji nawadniania roślin. Stwierdzono, że przy niskich dawkach nawodniania (w warunkach niedoboru wody) model przeszacowywał zarówno wzrost biomasy nadziemnej roślin w całym okresie wegetacji, jak również wzrost *LAI* oraz plon ziarna. Zgodność wyników obserwowanych i symulowanych była znacznie większa (i praktycznie zadowalająca) w roku, w którym nie występowały niedobory wody w okresach krytycznych wegetacji w stosunku do roku określonego jako suchy.

We Francji stosowano zmodyfikowaną przez naukowców z INRA w Tuluzie wersję modelu EPIC, dostosowaną do warunków francuskich (nazwano ją EPICPHASE), do symulacji przyrostu suchej masy nadziemnej, *LAI* oraz plonu ziarna pszenicy ozimej w zależności od dostępności dla roślin wody i azotu w glebie. Wprowadzane dane i parametry wejściowe pochodziły z literatury i wieloletniego doświadczenia polowego (także lizymetrycznego). Skalibrowano pewne funkcje wzrostu łanu, takie jak: funkcja przyrostu biomasy i jej dystrybucji pomiędzy organy roślin, *LAI* i innych funkcji bez uwzględniania wpływu czynników limitujących. Wyniki badania zgodności symulacji przez EPICPHASE zostały uznane za zadowalające w zakresie przewidywania bilansu wodnego, tworzenia plonu biomasy i ziarna, oraz pobierania azotu. Względny średniokwadratowy błąd prognozy wynosił od 8 do 18% w zależności od zmiennej i roku, w którym badano zgodność symulacji z wynikami obserwowanymi [4]. Należy dodać, że wyniki modelowania uważa się za wystarczająco zgodne, jeśli błąd modelu (względny średniokwadratowy błąd prognozy) nie przekracza pewnej umownej wartości. W przypadku prognozowania lub szacowania plonów ziarna zbóż dla konkretnego pola Główny Urząd Statystyczny przyjął, że błąd taki nie powinien przekraczać 10%. Światowa Organizacja Meteo-

Tabela 1. Błędy symulacji plonu ziarna różnych zbóż przy użyciu modelu EPIC podane przez Ceotto i in. [2, 3]

Miejscowość	Gatunek rośliny	<i>ME</i> * [t/ha]	<i>RRMSE</i> ** [%]
Bovolone	pszenica twarda	1,3	11,27
	jęczmień	1,4	12,26
Modena	kukurydza	2,6	10,29
	jęczmień	3,2	26,95
Rzym	pszenica twarda	2,9	24,00
	kukurydza	3,0	17,69
Foggia	pszenica twarda	2,4	46,15

**ME* — błąd maksymalny,

***RRMSE* — względny średniokwadratowy błąd prognozy.

rologiczna (WMO) uzależniła wielkość dopuszczalnego względnego średniokwadratowego błędu prognozy od współczynnika zmienności plonu (*CV*). Na przykład dla plonów charakteryzujących się *CV*=25% zgodność wyników modelowania (dokładność prognozy) uważa się za: bardzo dobrą przy wymienionym wyżej błędzie 15%, dobrą przy błędzie 20% oraz dostateczną przy błędzie 25% [6].

Ceotto i in. [2, 3] stosowali EPIC we Włoszech do symulacji wzrostu łąnu i plonu pszenicy twardej, jęczmienia, tytoniu, kukurydzy, sorga i soi w sześcioletnim zmianowaniu w czterech miejscowościach: Bovolone, Modena, Foggia i Rzym. Czynniki badanymi były: zmianowanie, poziomy nawożenia i sposób uprawy. Autorzy stwierdzili, że model dokładnie symulował plon wymienionych roślin w zadanych warunkach meteorologicznych, natomiast symulował znacznie gorzej efekty oddziaływania stresu wodnego, czy azotowego na rośliny i środowisko. W tabeli 1 podano wartości dwóch parametrów otrzymanych przez Ceotto i in. [2, 3] przy statystycznej ocenie dokładności prognozy za pomocą modelu EPIC.

Przewidywanie skutków stosowania określonych systemów rolniczych, systemów uprawowych i płodozmianów z uwzględnieniem degradacji zasobów glebowych

Sharpley i Williams [10] podają, że Lee i Lackwell w 1989 roku stosowali EPIC do symulacji plonów, erozji wietrznej i plonowania w południowym Teksasie w USA dla kilku systemów rolniczych i sposobów nawadniania. Autorzy ci wykorzystywali oceniany model do określenia plonu roślin i erozji gleby oraz zysków netto dla 12 alternatywnych zmianowań roślin na glebach suchych w badanym regionie USA, gdzie jednym z czynników różnicujących był udział rolników w federalnym programie rolniczym. Wyniki symulacji zostały opracowane za pomocą ekonomicznego modelu optymalizacyjnego na poziomie gospodarstwa. Badania wykazały że systemy rolnicze preferowane przez wdrażany w USA optymalizacyjny program rolniczy mogą przynosić zyski, zabezpieczając jednocześnie glebę przed erozją.

Tabela 2. Średnie obserwowane (\bar{O}) i symulowane (\bar{P}) przez EPIC dla plonu biomasy nadziemnej roślin (*BIOM*) i ziarna pszenicy (*YLD*) w trzech kombinacjach doświadczenia wykonanego w jednym zmianowaniu [1]

Średnie	Kombinacje					
	Poziom nawożenia 1		Poziom nawożenia 2		Poziom nawożenia 3	
	BIOM [t/ha]	YLD [t/ha]	BIOM [t/ha]	YLD [t/ha]	BIOM [t/ha]	YLD [t/ha]
\bar{O}	9,93	4,41	16,77	7,42	16,48	7,12
\bar{P}	12,44	5,37	15,20	6,94	15,17	6,93

Cabelguenne i in. [1] stosowali EPIC od 1984 roku w północno-wschodniej Francji jako narzędzie do badania skutków rolniczych różnych zmianowań w zależności od trzech czynników: nawożenia, nawadniania i uprawy gleby. W badaniach tych porównano wyniki symulacji narastania biomasy części nadziemnej roślin i plon kukurydzy na ziarno, sorga, słonecznika, soi i pszenicy z wynikami obserwowanymi w polowym doświadczeniu czynnikowym na 131 jednostkach doświadczalnych (tab. 2). Średniokwadratowy błąd prognozy (*RMSE*) dla badanych kombinacji czynnikowych okazał się niewielki, a średnia plonów symulowanych nie była istotnie różna od średniej obserwowanej.

Steiner i in. [12] wykonali badania przydatności modelu do symulacji bilansu wodnego w warunkach niedoboru wody dla zmianowania pszenica-sorgo-ugór na terenach posusznych. W tym celu porównali wartości oszacowanej (symulowanej) ewapotranspiracji, przemieszczania się opadów do wody gruntowej i plonu roślin z danymi zebranymi w latach 1958–1984 w miejscowości Bushland w stanie Texas w USA. Ponadto symulowano plon ziarna obu roślin w warunkach bezstresowych i z uwzględnieniem czynników ograniczających plonowanie. W tabeli 3 podano średnią obserwowaną (\bar{O}), średnie symulowane (\bar{P}_1, \bar{P}_2) i różnice średnich obserwowanych i symulowanych (MD_1 i MD_2). Średnią obserwowaną i średnią symulowaną dla warunków uwzględniających obecność czynników ograniczających plonowanie otrzymano z całości doświadczenia wieloletniego (\bar{P}_1), a średnią symulowaną dla warun-

Tabela 3. Średnie obserwowane (\bar{O}) i symulowane (\bar{P}_1, \bar{P}_2) plonu ziarna pszenicy wygenerowane przez model EPIC w warunkach bezstresowych (*BS*) i z uwzględnieniem czynników ograniczających plonowanie (*S*) — wszystkie wartości podano w t/ha [12]

	<i>BS</i>	<i>S</i>
\bar{O}	1,1	1,3
\bar{P}_1	1,7	1,5
Różnica $\bar{O} - \bar{P}_1 = MD_1$	-0,6	-0,2
\bar{P}_2	1,4	1,3
Różnica $\bar{O} - \bar{P}_2 = MD_2$	-0,3	0,0

ków bezstresowych (\bar{P}_2) otrzymano uśredniając wyniki tylko z tych lat, w których nie stwierdzono zjawisk mogących istotnie obniżyć plonowanie (susza, wzmożony rozwój chwastów czy szkodników).

Symulowanie reakcji roślin uprawnych na różne czynniki pogodowe, glebowe i agrotechniczne w rzeczywistym i hipotetycznym zakresie ich zmienności

Toure i in. [13] porównywali wyniki symulacji wzrostu łanu pszenicy jarej przy użyciu pięciu modeli: EPIC, CERES, Century, Sinclair i Steward. Celem ich pracy było wybranie odpowiedniego modelu do badań produktywności pszenicy jarej w warunkach przewidywanych zmian klimatycznych, które ewentualnie mogą wystąpić w wyniku zwiększenia stężenia gazów cieplarnianych. Wyniki symulacji porównano z wynikami uzyskanymi w wieloletnim doświadczeniu polowym założonym w roku 1911 na glebach o składzie mechanicznym piasków ilasto-gliniastych w miejscowości Letherbridge w kanadyjskiej prowincji Alberta. Plony symulowane (oszacowane) przez badane modele porównano z obserwowanymi plonami w trzech zmianowaniach: monokulturze, zmianowaniu ugór-pszenica i ugór-pszenica-pszenica. EPIC symulował plony najdokładniej w stosunku do plonów obserwowanych we wszystkich kombinacjach w zmianowaniach.

Easterling i in. [5] przystosowali model EPIC do symulacji wpływu zmian stężenia dwutlenku węgla w atmosferze i zmian warunków klimatycznych na plony i opłacalność gospodarowania w stanach Missouri, Iowa, Nebraska i Kansas w USA. Badania wykonano na próbie wybranych 48 reprezentatywnych dla tego regionu (pod względem produktywności, struktury produkcji, specjalizacji itp.) farm (wytwarzających ok. 65% produkcji tego regionu) zajmujących się uprawą pięciu najbardziej typowych dla tego regionu roślin: kukurydzy, soi, sorga, pszenicy i traw pastewnych.

Powyższe różnorodne zastosowania i wyniki badania zgodności symulowania za pomocą modelu EPIC różnych zjawisk i procesów przyrodniczo-rolniczych wskazują, że model ten jest na ogół dość skutecznym narzędziem (zgodnym, czyli dość dokładnie modelującym procesy roślinne i środowiskowe) w przewidywaniu zarówno wzrostu, rozwoju i plonowania roślin uprawnych, jak i zachowania całych systemów uprawowych (płodozmianów) oraz stanu środowiska w agroekosystemach w różnej skali ich rozproszenia.

Literatura

- [1] Cabelguenne M., Jones C.A., Quinones H. 1990. Using the EPIC model in the study of cropping systems. I. Comparison of measured and simulated data of five crops managed at different input levels. *Agricoltura Mediterranea* 120: 138–149.
- [2] Ceotto E., Donatelli M., F. Quaranta, Rinaldi M. 1993a. Il modello EPIC nella simulazione di sistemi colturali attuati in ambienti italiani: I Analisi della sensabilità. *Agricoltura Ricerca* 141: 27–41.

- [3] Ceotto E., Donatelli M., Castelli F., Quaranta F., Rinaldi M., Spalacci P. 1993b. Il modello EPIC nella simulazione di sistemi colturali attuati in ambienti italiani. II Validazione rispetto ai dati produttivi. *Agricoltura Ricerca* 141: 151–152.
- [4] Debaeke P., Cabelguenne M., Casals M.L., Puech J. 1996. Yield build-up in winter wheat under soil water deficit. II. Development and testing of a simulation model for wheat under various water and nitrogen regimes: EPICPHASE — Wheat. *Agronomie* 16: 25–46.
- [5] Easterling E.W., Rosenberg J.N., McKenney S.M., Jones C.A., Dyke T.P., Williams J.R. 1992. Preparing the Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC) model to simulate crop response to climate change and the direct effects of CO₂. *Agric. Forest Meteorology* 59: 17–34.
- [6] Faber A., Błoch Z., Czajkowski M. 1996. Wstępne wyniki prób zastosowania modelu wzrostu i plonowania roślin w warunkach Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 447: 46–66.
- [7] Mądry W., Piotrowski M., Rozbicki J., Kalinowska-Zdun M., Wszyński Z. 1998. Zastosowane modelowania symulacyjnego roślin uprawnych na przykładzie modelu EPIC. I. Zagadnienia ogólne. *Post. Nauk Roln.* 2: 3–13.
- [8] Moulin A.P., Beckie H.J. 1993. Evaluation of the CERES and EPIC models for predicting spring wheat grain yield over time. *Can. J. Plant Sci.* 73: 713–719.
- [9] Sharpley A.N., Williams J.R. 1990a. EPIC — erosion productivity impact calculator. I. Model documentation. Technical Bulletin USDA.
- [10] Sharpley A.N., Williams J.R. 1990b. EPIC — erosion productivity impact calculator. II. User manual. Technical Bulletin USDA.
- [11] Steduto P., Pocuca V., Caliendo A., Debaeke P. 1995. An evaluation of the crop-growth simulation submodel of EPIC for wheat grown in a Mediterranean climate with variable soil-water regimes. *Eur. J. Agron.* 4: 335–345.
- [12] Steiner J.L., Williams J.R., Jones O.R. 1987. Evaluation of the EPIC simulation model using a dryland Wheat-Sorghum-Fallow Crop rotation. *Agr. J.* 79: 732–738.
- [13] Toure A., Major D.J., Lindwall C.W. 1995. Comparison of five wheat simulation models in southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.* 75: 61–68.
- [14] Toure A., Major D.J., Lindwall C.W. 1995. Sensitivity of four wheat simulation models to climate change. *Can. J. Plant Sci.* 75: 69–74.
- [15] Williams J.R., Jones C.A., Kiniry J.R., Spalacci P. 1989. The EPIC crop growth model. *Trans. ASAE* 32: 497–511.

Crop simulation modelling with the use of EPIC model. Part I. Applications of the model

Summary

The paper presents a brief description of crop growth submodel in EPIC model and gives an overview of the literature on many applications of the model in research of crop production as well as of agricultural environment protection. In most cases of its application (validation) the EPIC model has proved to simulate the real processes at accurate precision.