

SYMULACJE PŁONÓW POTENCJALNYCH JĘCZMIENIA JAREGO  
PRZY UŻYCIU MODELU CERES-BARLEY  
NA OBSZARZE POLSKI ŚRODKOWO-WSCHODNIEJ\*

*Leszek Kuchar<sup>1</sup>, Jerzy Lipiec<sup>1</sup>, Jerzy Rejman<sup>2</sup>, Józef Kotodziej<sup>3</sup>,  
Bogusław Kaszewski<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Katedra Matematyki, Akademia Rolnicza, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław  
e-mail: kuchar@ozi.ar.wroc.pl

<sup>2</sup>Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

<sup>3</sup>Katedra Agrometeorologii, Akademia Rolnicza, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin

<sup>4</sup>Zakład Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej  
al. Kraśnicka 2 cd, 20-628 Lublin

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki kalibracji modelu CERES-Barley dla danych uzyskanych w doświadczeniach polowych przeprowadzanych w latach 1986-1989. Skalibrowany model dla odmian jęczmienia jarego wykorzystano do symulacji plonów potencjalnych w wybranych latach, na różnych glebach i przy różnej liczbie przejazdów ciągnika. Wyniki badań wskazują na konieczność korekt symulowanych plonów przy użyciu technik statystycznych oraz możliwości szacowania plonów potencjalnych określonych rozkładami prawdopodobieństwa.

**Słowa kluczowe:** model symulacyjny CERES-Barley, plony potencjalne, jęczmień jary, dane meteorologiczne, rozkład prawdopodobieństwa Weibulla

#### WSTĘP

Model CERES-Barley został opracowany do symulacji wzrostu i plonowania jęczmienia w zróżnicowanych warunkach środowiska jako narzędzie służące do wspomaganie decyzji i transferu technologii [2,6,9]. Stopień przydatności modelu w zależności od warunków glebowo-klimatycznych i czynników agrotechnicznych można określić w oparciu o błędy symulacji, w szczególności – błędy oszacowań plonów rzeczywistych [3,7,11]. Każde zastosowanie modelu w nowych warunkach agroklima-

---

\* Praca częściowo zrealizowana w ramach projektu badawczego Unii Europejskiej "Assessing Climate Change Effects on Land Use and Ecosystems: from Regional Analysis to the European Scale (ACCELERATES)" nr EVK2-CT-2000-00061.

tycznych wymaga jednak wstępnie dopasowania (kalibracji) z uwzględnieniem parametrów glebowych i genetycznych gatunków odmian roślin występujących w doświadczeniach przeprowadzonych w tych samych warunkach [1,2,4,9].

Celem badań było przeprowadzenie kalibracji modelu CERES-Barley, symulacji plonów rzeczywistych i potencjalnych oraz określenie ich błędów w zależności od typu gleby, liczby przejazdów ciągnika i przebiegu pogody podczas 4-letnich doświadczeń.

## MATERIAŁ I METODA

### Doświadczenie i dane empiryczne

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 1986-1989 w Felinie (51° 14' N, 22° 62' E; 200 m npm) na Płaskowyżu Świdnickim i Sobieszynie (51° 36' N, 22° 11' E; 160 m npm) na Wysoczyźnie Żelechowskiej. Plony jęczmienia jarego odmiany Aramir i Diva uzyskano dla gleb pływowych (Orthic Luvisol) wytworzonych z utworów pyłowych, niecałkowitych na marglu kredowym (Felin) oraz gleb bielcowych (Leptic Podzol) wytworzonych z piasku pochodzenia wodnego (Sobieszyn). Pod względem uziarnienia były to odpowiednio pył gliniasty i piasek gliniasty. Zawartość próchnicy w pyłe gliniastym wynosiła 1,48% i w piasku gliniastym 1,21%.

Doświadczenie obejmowało pięć następujących obiektów z różnymi poziomami zagęszczenia gleby uzyskanymi pod wpływem przejazdów ciągnika:

- a – bez przejazdów,
- b – jeden przejazd ciągnika lekkiego (masa 2,7 Mg; obciążenie osi tylnej 17,0 kN; ciśnienie w oponach 60 kPa),
- c – jeden przejazd ciągnika ciężkiego (masa 4,8 Mg i obciążenie osi tylnej 31,8 kN na pyłe gliniastym oraz 4 Mg i 25,6 kN na piasku gliniastym; ciśnienie w oponach wynosiło 160 kPa w obydwu ciągnikach),
- d – trzy przejazdy jak w obiekcie c,
- e – osiem przejazdów jak w obiekcie c.

Przejazdy wykonywano wiosną na całej powierzchni poletek (46,5 m<sup>2</sup>) w 4 powtórzeniach w każdym obiekcie i obydwu glebach. Następnie wykonano zabiegi bronowania w celu przygotowania roli do siewu jęczmienia jarego. Aby uzyskać podobny stan rozdrobnienia roli we wszystkich obiektach, zastosowano większą liczbę zabiegów bronowania na glebach bardziej zagęszczonych.

Stosowano typowe nawożenie mineralne: N – w dwu dawkach 38 i 20 kg·ha<sup>-1</sup> (mocznik), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 65 kg·ha<sup>-1</sup> (superfosfat pojedynczy), K<sub>2</sub>O – 85 kg·ha<sup>-1</sup> (sól potasowa) oraz środki zwalczania chwastów (Aminopielik – 3 l·ha<sup>-1</sup>).

Dane opadów atmosferycznych i temperatury powietrza pochodzą z Obserwatorium Agrometeorologicznego Akademii Rolniczej w Lublinie, zlokalizowanego w Felinie, a promieniowania całkowitego z Obserwatorium Meteorologicznego Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie (51° 15' N, 22° 34' E).

### **Model wzrostu i plonowania roślin**

W opisywanych badaniach plonowanie jęczmienia jarego określano w oparciu o powszechnie znany model CERES-Barley [9]. Kalibrację modelu wykonano dla rozważanych warunków środowiska z uwzględnieniem czynników ograniczających (przebieg pogody), oraz użytych w doświadczeniu poziomach nawożenia mineralnego, jednak bez stosowanych środków ochrony roślin. Z kolei, plony potencjalne w badanych latach obliczono dla wcześniej skalibrowanego modelu z pominięciem czynników ograniczających z uwzględnieniem poziomów nawożenia. Tym samym uzyskano plony maksymalne ograniczone jedynie warunkami środowiska, w szczególności przebiegiem pogody i jej interakcją z glebą.

Model CERES-Barley istotnie wykorzystuje cztery dobowe zmienne meteorologiczne: sumę promieniowania całkowitego (SR), temperaturę maksymalną ( $T_{max}$ ), minimalną ( $T_{min}$ ) oraz sumy opadów (P). Wzrost roślin i plonowanie są determinowane przez sumę dobową promieniowania całkowitego oraz indeks powierzchni liści (LAI), a pozostałe wielkości ( $T_{max}$ ,  $T_{min}$ , P) mają charakter modyfikujący. Model wymaga również scharakteryzowania profilu glebowego, określenia parametrów genetycznych dla symulowanych odmian oraz informacji określających sposoby uprawy, nawożenia i rodzaj stosowanych zabiegów agrotechnicznych [9,11]. Poszczególne procedury modelu (akumulacja i podział biomasy, rozwój fenologiczny, podział produktów fotosyntezy pomiędzy poszczególne organy, oraz bilans wodny i azotowy) opisano w pracach [2,9,11].

### **Szacowanie wartości dobowych promieniowania całkowitego**

Model CERES-Barley wymaga do symulacji plonów dobowych danych meteorologicznych, a w szczególności sum promieniowania całkowitego. Wartości promieniowania całkowitego weryfikowano z wykorzystaniem promieniowania w górnych warstwach atmosfery, dobowej amplitudy temperatury, temperatury maksymalnej i opadów. Metodyka estymacji opisana została w pracy [5]. Procedura weryfikacyjna wykazała dużą zależność pomiędzy wartościami mierzonymi a szacowanymi  $R^2 = 0,88$  istotną na poziomie istotności  $\alpha = 0,001$  umożliwiającą w pełni wykorzystanie danych o promieniowaniu.

### **Rozkłady prawdopodobieństw plonów potencjalnych**

Symulacje wartości plonów uzyskano z podziałem na warunki ograniczające wzrost roślin (plony rzeczywiste, potencjalne), typ gleb i odmianę ujętą w doświadczeniu (gleba o uziarnieniu pyłu gliniastego; odmiana Aramir, Diva), poziomami zagęszczenia gleby pod wpływem przejazdów ciągnika (liczba przejazdów przez dany obiekt: 0, 1, 3, 8) oraz badanych lat (1986-89). W każdym przypadku oszacowano

rozkłady plonów przy pomocy stosowanego często rozkładu Weibulla [3,10]. W tej części badań założono, że błąd symulacji plonów rzeczywistych w modelu CERES-Barley (po kalibracji modelu) jest taki sam jak plonów potencjalnych i w związku z tym różnice wartości oddają rzeczywiste zmiany w plonowaniu.

## WYNIKI SYMULACJI

### Kalibracja modelu

Kalibracja modelu CERES-Barley polegała na doborze jego parametrów, tak aby wartości symulowane i rzeczywiste plonów różniły się jak najmniej przy jednoczesnym zachowaniu ich fizycznego znaczenia [2,4,8,11].

W przeprowadzonych badaniach model kalibrowano dla obu odmian jęczmienia jarego (Aramir i Diva) z uwzględnieniem typowych parametrów glebowych dla gleb występujących w doświadczeniach. Parametry genetyczne wstępnie przyjęto z bazy pakietu DSSAT [9] jak dla odmian jarych późnych, a następnie dla każdej z odmian zmodyfikowano je w oparciu o dane agrofenologiczne ze stacji doświadczalnej w Felinie. Wykorzystane dane agrofenologiczne nie pozwoliły jednak na precyzyjne ustalenie wartości parametrów genetycznych ze względu na ich pierwotnie inne przeznaczenie. W związku z powyższym uzyskane parametry przyjęto jako najlepsze z uzyskanych, ale nie koniecznie optymalne.

### Symulacja i ocena wielkości plonów

Symulację i ocenę plonów wykonano z podziałem na typ gleby (2 typy), liczbę przejazdów ciągnika po poletku (0, 1, 3, 8) i przebieg pogody (4 lata). W każdym przypadku przeprowadzono 40 symulacji plonów, które porównano z plonami z doświadczeń (statystykę opisową plonów z eksperymentów polowych zamieszczono w tabeli 1).

Symulacje oceniono w oparciu o trzy podstawowe miary oceny symulacji  $E$ ,  $E_{Abs}$ ,  $E_{Rel}$  postaci [3,10]:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

$$E_{Abs} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

$$E_{Rel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \cdot 100\% \quad (3)$$

SYMULACJE PLONÓW POTENCJALNYCH JĘCZMIENIA JAREGO

gdzie:  $y_i$ ,  $\hat{y}_i$ ,  $\bar{y}$  oznacza odpowiednio i-ty plon obserwowany, i-ty plon estymowany oraz plon średni.

**Tabela 1.** Statystyka opisowa plonów z podziałem według symulacji

**Table 1.** Descriptive statistics of yield for different type of simulation

Podział symulacji wg czynnika Simulation factor	Poziom czynnika Level	Liczba symulacji Number of simulations	Parametry – Parameters <sup>3</sup>				
			$\bar{X}$	S	v	$X_{\max}$	$X_{\min}$
Gleba i odmiana Soil and variety	SALO <sup>1</sup>	20	32,6	8,8	27,0	48,6	19,5
	SILO <sup>2</sup>	20	44,4	7,5	16,9	58,4	27,8
Liczba przejazdów ciągnika Number of tractor passes	0	8	40,9	11,0	27,0	58,4	25,9
	1	16	41,0	9,9	24,2	53,6	22,1
	3	8	37,4	9,2	24,6	50,1	29,1
	8	8	32,1	8,6	26,8	44,5	19,5
Przebieg pogody Weather course	1986	10	35,7	15,2	42,5	58,4	19,5
	1987	10	47,4	4,3	9,2	51,7	38,0
	1988	10	34,1	4,7	13,8	39,8	25,8
	1989	10	36,8	6,6	17,8	44,5	25,8
Łącznie – Total		40	38,5	10,0	26,1	58,4	19,5

<sup>(1)</sup> SALO – gleba piasek gliniasty – loamy sand; <sup>(2)</sup> SILO- gleba pył gliniasty – silty loam.

<sup>(3)</sup> średnia, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności oraz maksimum i minimum odpowiednio – average, standard deviation, coefficient of variation, maximum and minimum, respectively.

W przeprowadzonych symulacjach istnieje duże zróżnicowanie błędów w zależności od podziału na typ gleby, liczbę przejazdów po poletkach czy warunki pogodowe (tab. 2).

Średni błąd symulacji E (1) określony jako stopień wyczerpywania zmienności całkowitej wyrażony w procentach wynosi 123% i zmienia się od 46% (symulacje dla roku 1989) do 565% (symulacje dla roku 1988). Dla trzech symulacji zmienność całkowita jest istotnie wyczerpywana (mniejsza niż 100%), co w konkretnych przypadkach oznacza, że współczynnik determinacji  $R^2$  zmienia się od 0,01 do 0,54. Wartości błędu większe od 100% oznaczają, że proste przybliżenie plonu wartością średniej arytmetycznej jest lepsze od wartości uzyskanej z modelu.

W przypadku podziału wyników symulacji w zależności od gleby uzyskano błędy 103 i 261% co oznacza trudności z symulowaniem plonów na glebie o uziar-nieniu piasku gliniastego (Sobieszyn). Duże zróżnicowanie w symulowanych plonach istnieje przy uwzględnieniu ruchu maszyn na polu (wartości od 77% do 360%). W tym przypadku istnieje tendencja zgodnie, z którą błąd symulacji jest tym większy im większy jest ruch maszyn na polu. Należy sądzić, że model tak skalibrowany nie uwzględnia w pełni zmian w zwięzłości gleby kształtowanej przez przejazdy maszyn rolniczych. Jeszcze większa zmienność błędu symulowanych plonów obserwowana

jest dla kolejnych lat doświadczenia (wartości od 46% do 565%). Bardzo dobre wyniki symulacji uzyskane dla doświadczeń w roku 1989 ( $E = 46\%$ ,  $R^2 = 0,54$ ), a nie do przyjęcia dla roku 1988 ( $E = 585\%$ ). To wskazuje na trudności w modelowaniu zależności pogoda – plon, uwzględnianiu interakcji czynników i ekstrapolacji procesów. Wszystkie symulacje z podziałem według uwzględnianych czynników zamieszczono na rysunku 1.

**Tabela 2.** Ocena szacowanych plonów z podziałem według symulacji  
**Table 2.** Evaluation of yield estimation for a different type of simulation

Podział symulacji wg czynnika Simulation factor	Poziom czynnika Level	Liczba symulacji Number of simulation	Rodzaj błędu – Type of error <sup>3</sup>		
			$E$ (%)	$E_{Abs}$ (q·ha <sup>-1</sup> )	$E_{Rel}$ (%)
Gleba i odmiana Soil and variety	SALO <sup>1</sup>	20	261,0	10,5	41,6
	SILO <sup>2</sup>	20	102,9	6,1	15,2
Liczba przejazdów ciągnika Number of tractor passes	0	8	77,1 ( $R^2 = 0,23$ )	7,1	20,5
	1	16	99,1 ( $R^2 = 0,01$ )	6,8	22,1
	3	8	163,3	7,8	27,8
	8	8	360,1	13,0	49,5
Przebieg pogody Weather course	1986	10	166,3	16,1	64,3
	1987	10	117,2	4,0	8,7
	1988	10	565,2	9,7	30,6
	1989	10	46,0 ( $R^2 = 0,54$ )	3,4	10,2
Łącznie – Total		40	123,1	8,3	28,4

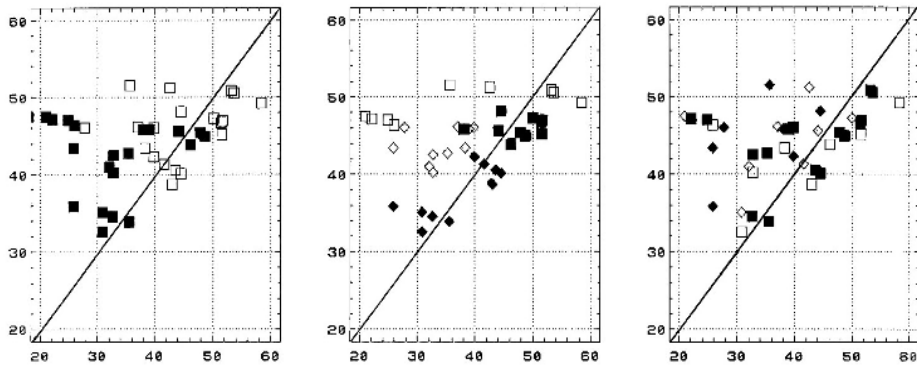
<sup>(1)</sup> SALO – piasek gliniasty – loamy sand; <sup>(2)</sup> SILO- pył gliniasty – silty loam.

<sup>(3)</sup> opis w tekście – see text for description.

Również średnie bezwzględne błędy szacowanych plonów ( $E_{Abs}$ ) zamieszczone w tabeli 2 wskazują na bezwzględne różnice (q·ha<sup>-1</sup>) pomiędzy wynikami symulacji i obserwacjami.

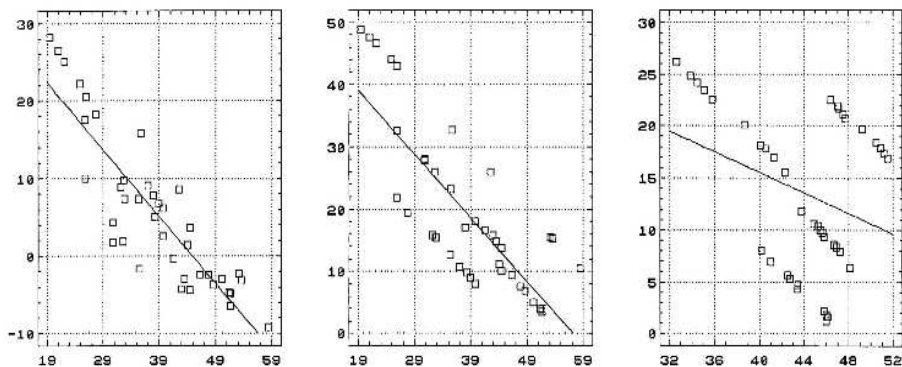
Średnia wartość błędu wszystkich symulacji wynosi 8,3 q·ha<sup>-1</sup>. Najmniejszy błąd (mały w skali pola czy gospodarstwa) uzyskano dla doświadczeń w roku 1989, największy zaś dla doświadczeń w roku 1986 ( $E_{Abs} = 16,1$  q·ha<sup>-1</sup>). Subiektywnie, w świetle badań modeli pogoda-plon [2,3,4,11] dla klimatu Polski i jęczmienia za błędy akceptowane w skali gospodarstwa (pola) można uznać wartości do 6-7 q·ha<sup>-1</sup>. Obejmuje to wszystkie symulacje w roku 1987, a także dla gleb pługowych oraz dla doświadczeń z małą liczbą przejazdów maszyn (zero lub jeden). Definitywnie należy odrzucić symulacje dla gleby o uziarnieniu piasku gliniastego dla dużej liczby przejazdów maszyn, a także uzyskanych dla roku 1986.

SYMULACJE PŁONÓW POTENCJALNYCH JĘCZMIENIA JAREGO



**Rys. 1.** Płony obserwowane (oś X) i estymowane (oś Y) w rozbiciu na czynnik symulacji: gleba (SILO, pył gliniasty – ■, SALO, piasek gliniasty – □), przebieg pogody (1986 – ■, 1987 – □, 1988 – ◆, 1989 – ◇), liczba przejazdów ciągnika (0 – ■, 1 – □, 3 – ◆, 8 – ◇) – kolejność leksykograficzna

**Fig. 1.** Observed (axis X) vs. estimated (axis Y) yield for a given simulation and factor level: soil type (SILO, silty loam – ■, SALO, loamy sand – □), weather course (1986 – ■, 1987 – □, 1988 – ◆, 1989 – ◇), number of tractor passes (0 – ■, 1 – □, 3 – ◆, 8 – ◇) – in lexicographical order



**Rys. 2.** Korekta symulowanych płonów w oparciu o regresję liniową  $z = ax + b$  dla różnych zmiennych zależnych i niezależnych; dla  $z = y_{est} - y_{obs}$ ,  $x = y_{obs}$  ( $r = -0,88^{***}$ ); dla  $z = y_{max} - y_{obs}$ ,  $x = y_{obs}$  ( $r = -0,80^{***}$ ); dla  $z = y_{max} - y_{est}$ ,  $x = y_{obs}$  ( $r = -0,31^*$ ); (porządek rysunków leksykograficzny; (\*\*\*) –  $\alpha = 0,001$ , (\*) –  $\alpha = 0,05$ )

**Fig. 2.** Linear correction of simulated yield based on simple regression  $z = ax + b$  for a different dependent and independent variable: for  $z = y_{est} - y_{obs}$ ,  $x = y_{obs}$  ( $r = -0,88^{***}$ ); for  $z = y_{max} - y_{obs}$ ,  $x = y_{obs}$  ( $r = -0,80^{***}$ ); for  $z = y_{max} - y_{est}$ ,  $x = y_{obs}$  ( $r = -0,31^*$ ); (in lexicographical order; (\*\*\*) –  $\alpha$  at 0.001, (\*) –  $\alpha$  at 0.05)

Wartości trzeciej z przedstawionych miar oceny symulacji ( $E_{Rel}$ ) potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia. Pomimo najbardziej liberalnej konstrukcji wzoru na błąd relatywny  $E_{Rel}$ , symulacje wykonane na piasku gliniastym (41,6%), z dużą liczbą przejazdów maszyn (8 przejazdów  $E_{Rel} = 49,5\%$ ) oraz w roku 1986 (64,3%) należy uznać za bardzo słabe. Jako przeciętne (średni błąd dla wszystkich symulacji wynosi 28,4%) należy uznać oszacowania plonów dla pyłu gliniastego (15,2%), o liczbie przejazdów 0 lub 1 (20,5% i 22,1%, odpowiednio), a dobre symulacje oszacowania plonów dla lat 1987 (8,7%) i 1989 (10,2%).

Błędy przedstawionych symulacji ( $y_i - \hat{y}_i$ ) są istotnie skorelowane ( $r = 0,88$ ) z obserwowanymi plonami  $y_i$  (rys. 2). Zgodnie z przedstawioną zależnością błędy oszacowań maleją wraz ze wzrostem obserwowanych plonów, co oznacza przeszacowanie niskich i niedoszacowanie wysokich plonów. Występująca tu tendencja ograniczania zmienności symulowanych plonów wskazuje na nieuwzględnianie w modelu wszystkich czynników kształtujących wzrost roślin w pełnym zakresie, lub też trudności w kalibrowaniu modelu [3,4].

### **Korekta symulowanych plonów**

Symulowane plony jęczmienia jarego  $\hat{y}_i$  obarczone błędami szacowań ( $y_i - \hat{y}_i$ ), które można korygować wykorzystując do tego celu regresję liniową:

$$\hat{y}_i = a \hat{y}_i + b.$$

Uzyskane w ten sposób nowe przybliżenia symulowanych plonów  $\hat{y}_i$  dla wszystkich symulacji, pozwalają zredukować błąd E do poziomu 92%.

### **Oszacowanie plonów potencjalnych**

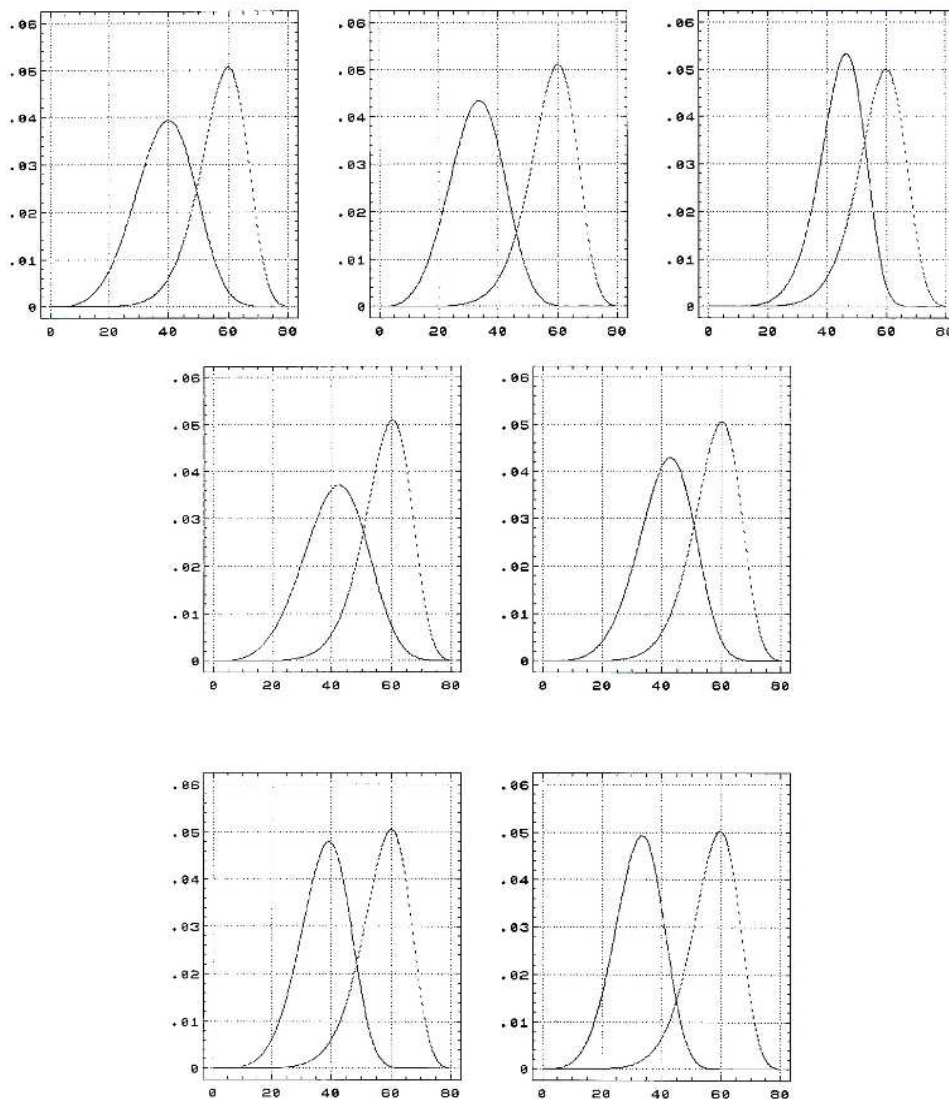
Wykonanie kalibracji modelu umożliwia przeprowadzenie symulacji w optymalnych warunkach środowiska bez stresu wodnego i azotowego dla lat 1986-89 (pełną statystykę opisową symulowanych plonów zamieszczono w tabeli 3).

W badaniach uwzględniono jedynie lata, w których przeprowadzono eksperyment bez analizy reprezentatywności lat ujętych w doświadczeniu. Założono również taki sam poziom błędu dla symulacji w warunkach stresu i warunkach optymalnych – co umożliwiła obiektywną ocenę zmian w plonowaniu.

Średni wzrost plonów potencjalnych dla wszystkich czterech rozważanych lat wyniósł 49,6% przy zmniejszeniu odchylenia standardowego (S) o 24,0% i współczynnika zmienności (V) o 49,4%. Potencjalne, maksymalne, symulowane plony w doświadczeniach wynosiły blisko  $7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wzrost symulowanych plonów odnotowano w obiektach bez przejazdów ciągnika, jak również dla doświadczeń o różnej liczbie tych przejazdów. W żadnym przypadku maksymalne plony symulowane nie były niższe niż plony obserwowane w doświadczeniach.



SYMULACJE PŁONÓW POTENCJALNYCH JĘCZMIENIA JAREGO



**Rys. 3.** Rozkłady prawdopodobieństwa plonów obserwowanych (—) i potencjalnych (-----) dla wszystkich czynników łącznie, z podziałem na typ gleby (SILO, pył gliniasty; SALO, piasek gliniasty) i podziałem na liczbę przejazdów ciągnika (0, 1, 3, 8) – odpowiednio w kolejności leksykograficznej

**Fig. 3.** Probability distribution of observed (—) and potential (-----) yield for a pooled simulation, different soil type simulation (SILO, silty loam; SALO, loamy sand) and number of tractor passes simulation (0, 1, 3, 8), respectively in lexicographical order

Podobnie jak w przypadku plonów symulowanych (z ograniczeniami), różnice pomiędzy plonami maksymalnymi i obserwowanymi oraz maksymalnymi i estymowanymi (z ograniczeniami) wyrażono jako funkcję plonów obserwowanych (rys. 2). Dla otrzymanych plonów obserwowanych i symulowanych wartości potencjalnych sporządzono rozkłady prawdopodobieństwa Weibulla [3,10] – rysunek 3, przedstawiające zmiany plonowania w różnych wariantach doświadczenia.

**Tabela 3.** Statystyka opisowa plonów potencjalnych z podziałem według symulacji  
**Table 3.** Descriptive statistics of potential yield for different type of simulation

Podział symulacji wg czynnika Simulation factor	Poziom czynnika Level	Liczba symulacji Number of simulation	Parametry – Parameters <sup>3</sup>				
			$\bar{X}$	S	v	$X_{\max}$	$X_{\min}$
Gleba i odmiana Soil and variety	SALO <sup>1</sup>	20	57,7	7,6	13,3	68,9	47,7
	SILO <sup>2</sup>	20	57,5	7,7	13,5	68,9	47,2
Liczba przejazdów ciągnika	0	8	57,9	8,0	13,8	68,9	48,1
	1	16	57,7	7,7	13,4	68,9	47,8
Number of tractor passes	3	8	57,5	8,0	13,9	68,6	47,7
	8	8	57,2	8,1	14,1	68,4	47,2
Łącznie – Total		40	57,6	7,6	13,2	68,9	47,2

<sup>1</sup>SALO – piasek gliniasty – loamy sand, <sup>2</sup>SILO- pył gliniasty – silty loam, <sup>3</sup>średnia, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności oraz maksimum i minimum odpowiednio – average, standard deviation, coefficient of variation, maximum and minimum, respectively.

## WNIOSKI

1. Przeprowadzone symulacje plonów jęczmienia jarego odmian Aramir i Diva w zróżnicowanych warunkach glebowych, agrotechnicznych i pogodowych przy pomocy modelu CERES-Barley nie dają jednoznacznej odpowiedzi, co do przydatności ocenianego modelu w sytuacji dysponowania niepełnymi danymi biometrycznymi i genetycznymi odmian. Obok dobrych symulacji obarczonych małymi błędami ( $E < 80\%$ ) uzyskano również symulacje o błędach niedopuszczalnych ( $E > 100\%$ ).

2. Stosowanie modelu umożliwia liniowa korekta symulowanych plonów w oparciu o plony obserwowane dająca znaczną redukcję błędów i efektywne wykorzystanie symulacji.

3. Symulacje plonów potencjalnych wskazują na stosunkowo duże możliwości plonowania jęczmienia w rozważanej kombinacji odmiana-gleba-agrotechnika-pogoda opisanymi rozkładami prawdopodobieństwa Weibulla.

PIŚMIENNICTWO

1. **Alexandrov V.A.:** The effect of climate change on agriculture in Bulgaria. Proc. 15th Int. Congress ICB-ICUC, Sydney 8-12 Nov. 1999, (CD ROM), 1999.
2. **Barczyk R.:** Symulacja wzrostu i plonowania pszenicy ozimej w aspekcie przewidywanych zmian klimatu z zastosowaniem modelu matematycznego. Praca doktorska, Wyd. AR we Wrocławiu, 2000.
3. **Barczyk R., Dubicka M., Kuchar L.:** Plonowanie pszenicy ozimej w rejonie Wrocławia w latach 2010-2050: Symulacje w oparciu o model plonowania CERES-Wheat oraz scenariusz zmiany klimatu GISS. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Ser. RLXXIV, 367, 303-315, 1999.
4. **Faber A., Błoch Z., Nieróbca A., Demidowicz G., Szymczyk R.:** Weryfikacja i kalibracja modelu WOFOST dla pszenicy ozimej uprawianej w Polsce. *Fragm. Agronom.*, 4, 40-50, 1996.
5. **Hunt L. A., Kuchar L., Swanton C. J.:** Estimation of solar radiation for use in crop modelling, *Agric. For. Meteorol.*, 91, 293-300, 1998.
6. **MacDonald G., Sertorio L. (Eds.):** The Global Climate and Ecosystems Change. Plenum Press, New York, 1990.
7. **Ritchie J.T., Otter S.:** Description and Performance of CERES-Wheat: A User- Oriented Wheat Yield Model. W. O. Willis (Ed.): ARS Wheat Yield Project, ARS-38, USDA-ARS, 159-175, 1985.
8. **Rosenzweig C.:** Global climate change: predictions and observations. *Am. J. Agric. Econom.*, 71, 1265-71, 1989.
9. **Tsuji G., G. Uehara, S. Balas (Eds.):** DSSAT v.3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 1994.
10. **Walpole R. E., Myers R. H.:** Probability and statistics for engineers and scientists. MacMillan Publ. Comp., New York, 1993.
11. **Stastna M., Trnka M., Kren J., Dubrovsky M., Zalud Z.:** Evaluation of the CERES Models in Different Production Regions of the Czech Republic. *Rostlinna Vyroba*, 48, 125-132, 2002.

SIMULATIONS OF POTENTIAL YIELDS OF SPRING BARLEY USING  
MODEL CERES-BARLEY IN CENTRAL-EASTERN POLAND

*Leszek Kuchar<sup>1</sup>, Jerzy Lipiec<sup>1</sup>, Jerzy Rejman<sup>2</sup>, Józef Kotodziej<sup>3</sup>,  
Bogusław Kaszewski<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Department of Mathematics, Agricultural University, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław  
e-mail: kuchar@ozi.ar.wroc.pl

<sup>2</sup>Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin

<sup>3</sup>Department of Agrometeorology, Agricultural University, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin

<sup>4</sup>Department of Meteorology and Climatology, University of Maria Skłodowska-Curie  
al. Kraśnicka 2 cd, 20-628 Lublin

**Abstract.** The paper presents results of calibration of CERES-Barley model for data obtained from field experiments carried out in 1986-1989. The model calibrated for two barley varieties Aramir i Diva was used for simulation of potential yields as affected by number of tractor passes. The simulation was performed for loamy sand and silty loam textured soils. The results indicate that simulated yield must be corrected using statistical techniques and possibilities of estimating high potential yields as determined by distribution of probability.

**Keywords:** model CERES-Barley, potential yields, spring barley, meteorological data, Weibull's distribution of probability