

## ZASTOSOWANIE TESTU *CROSS VALIDATION* DO WERYFIKACJI MODELI REGRESYJNYCH POGODA – PLON NA PRZYKŁADZIE PSZENICY OZIMEJ UPRAWIANEJ W PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ POLSCE

Ewa Dragańska<sup>1</sup>, Leszek Kuchar<sup>2</sup>, Zbigniew Szwejkowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

<sup>2</sup> Akademia Rolnicza we Wrocławiu

**Streszczenie.** Dane empiryczne wykorzystane w badaniach obejmują wyniki przeprowadzonych w latach 1971-1995 doświadczeń odmianowych z pszenicą ozimą wraz z obserwacjami meteorologicznymi z pobliskich stacji IMGW zlokalizowanych w regionie Polski północno-wschodniej. W pracy analizowano związki pomiędzy plonowaniem pszenicy ozimej a zmiennymi meteorologicznymi (z uwzględnieniem liniowego trendu plonów) oraz zależności pomiędzy relatywnymi terminami pojawienia się pełni faz rozwojowych rośliny oraz liczbą dni trwania międzyfaz a warunkami termicznymi i opadowymi. Po określeniu miar dopasowania  $R^2$ ,  $R^2_{adj}$  i błędów E każdy model regresji wielokrotnej poddano weryfikacji testem *Cross Validation* (CV) w wersji LOO w celu niezależnej oceny metody. Przeprowadzenie testu CV okazało się ostrym narzędziem selekcyjnym, gdyż wykazało, że należy zdyskwalifikować niemal połowę spośród weryfikowanych równań. Wśród udowodnionych relacji stwierdzono większą wyrazistość wpływu elementów meteorologicznych na rozwój roślin niż na ich plon.

**Słowa kluczowe:** modele pogoda – plon, pszenica ozima, weryfikacja, test *Cross Validation*

### WSTĘP

W literaturze przedmiotu przedstawionych jest bardzo wiele propozycji modeli pogoda – plon, opracowanych przy pomocy różnych metod statystycznych [Faber i in. 1996a, b]. Modele te w większości konstruowane są dla warunków lokalnych [Kozmiński 1993], a mimo to często okazuje się, że ich wartość predykcyjna jest niska nawet wtedy, gdy miary dopasowania opracowanych równań, jak np. współczynniki determinacji, są wysokie i istotne. Powodem tego bywa w wielu przypadkach tak zwane przeparametryzowanie modelu, czyli sytuacja, gdy liczba obserwacji jest stosunkowo mała w odniesieniu do liczby zmiennych w modelu. Wówczas miary dopasowania osiągają wartości istotne,

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Ewa Dragańska, Katedra Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, ul. Prawocheńskiego 21, 10-720 Olsztyn, e-mail:ewad@uwm.edu.pl

jednak model źle szacuje wartości plonu. Dlatego też, oprócz posługiwania się standardowymi miarami dopasowania funkcji ( $R^2$ ,  $R^2_{adj}$ ), należy stosować dodatkowe procedury weryfikacyjne [Penning de Vries 1977, Michaelson 1987, Kuchar 2001], wybierając model oparty na bardziej surowych kryteriach [Rao 1987]. W celu właściwego wyboru modelu w poniższej pracy przedstawiono wyniki zastosowania techniki testu *Cross Validation* wykorzystanej przy weryfikacji liniowych modeli regresyjnych pogoda – plon na przykładzie pszenicy ozimej uprawianej w Polsce północno-wschodniej.

## MATERIAŁ I METODY

Dane empiryczne wykorzystane w badaniach obejmują wyniki przeprowadzonych w latach 1971-1995 doświadczeń odmianowych pszenicy ozimej wraz z obserwacjami meteorologicznymi z pobliskich stacji IMGW. Wybrano obiekty reprezentujące obszar Polski północno-wschodniej, odpowiednio od zachodu na wschód regionu, położone na zbliżonej szerokości geograficznej (Rychliki – A, Wrocikowo – B, Chełchy – C, rys. 1).



A – Rychliki, B – Wrocikowo, C – Chełchy

Rys. 1. Schematyczny zarys lokalizacji obszaru, z którego dane posłużyły jako materiał do analizy  
Fig. 1. Outline of the location from which data for analysis were obtained

Analizowane plony pszenicy ozimej dotyczyły wzorca odmian (średnich plonów ze wszystkich badanych odmian w danej stacji), zaś dane o przebiegu wegetacji – przejścia przez kolejne fazy rozwojowe. Oznaczono je numerami zgodnie ze skalą Zadoksa [Zadoks i in. 1974]: ziarniaki suche (00) – siew; widoczny pierwszy liść (10) – wschody; rozwinięty pęd główny (20) – krzewienie; pęd główny i 2 pędy boczne (22) – wiosenne ruszenie wegetacji; początek strzelania w źdźbło (30); widoczny wierzchołek kłosa (50-51); początek dojrzałości woskowej (83); dojrzałość pełna (91). W celu charakterystyki warunków bezpośrednio poprzedzających wegetację roślin wprowadzono dodatkowy termin (15 września) jako datę sprzed najwcześniejszego terminu siewu z analizowanego 25-lecia. W efekcie wyliczono sumy temperatury i opadów w następujących między-

fazach i okresach: 00 – 10; 10 – 20; 22 – 30; 30 – 50; 50 – 83; 83 – 91; 15 IX – 00; 15 IX – 10; 15 IX – 20; 15 IX – 30; 15 IX – 50; 15 IX – 83; 15 IX – 91. Zbiór zmiennych niezależnych dla konstruowanych modeli stanowiły sumy temperatury ( $T$ )  $\geq$  od 3°C, tj. temperatury powyżej termicznego progu minimum dla pszenicy ozimej, sumy opadów ( $P$ ) w poszczególnych okresach rozwojowych rośliny, czas trwania poszczególnych międzyfaz ( $D$ ) oraz relatywne terminy wystąpienia poszczególnych faz rozwojowych ( $F$ ). Dla przykładu:  $T_{30-50}$  oznacza sumę temperatury w okresie od początku strzelania w źdźbło do kłoszenia,  $P_{15IX-83}$  – sumę opadów w okresie od 15 września do dojrzałości woskowej,  $D_{83-91}$  – czas trwania międzyfazy: początek dojrzałości woskowej – dojrzałość pełna, zaś  $F_{20}$  to termin osiągnięcia fazy widocznego pierwszego liścia.

W pracy analizowano dwa zagadnienia:

- związki pomiędzy plonowaniem pszenicy ozimej a wspomnianymi zmiennymi meteorologicznymi,
- zależności pomiędzy relatywnymi terminami pojawienia się pełni faz rozwojowych rośliny oraz liczbą dni trwania międzyfaz a warunkami termicznymi i opadowymi.

Dla określenia wymienionych związków wybrano jedną z najczęściej stosowanych technik statystycznych – liniową regresję wielokrotną z wyborem zmiennych niezależnych. Wpływ warunków meteorologicznych na plony analizowano po wyeliminowaniu liniowego trendu (plonów) obserwowanego w kolejnych latach.

Spśród wszystkich zbudowanych równań regresji wielokrotnej w dalszej analizie uwzględniono tylko te, które przynajmniej w 35% wyjaśniały zmienność całkowitą opisywanych zmiennych, co przy rozważanych liczebnościach prób oznaczało istotność współczynnika determinacji na poziomie  $\alpha = 0,1$ . Dla każdego z wybranych modeli obliczono dodatkowo średni bezwzględny błąd relatywny wyrażony w procentach dla wszystkich rozpatrywanych lat (1971-1995), według wzoru:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\%$$

gdzie:

- $n$  – liczba lat,
- $y_i$  – wartości rzeczywiste (wielkość plonu, czas trwania międzyfaz lub relatywny termin wystąpienia fazy),
- $\hat{y}_i$  – wartości oszacowane według modelu.

Po określeniu wartości  $R^2$ ,  $R^2_{adj}$ , E każdy wybrany model regresji wielokrotnej poddano weryfikacji testem *Cross Validation* (CV) w wersji LOO (*Leave-One-Out*) [Walpole i Myers 1993] w celu niezależnej oceny metody. Test polegał na wielokrotnym podziale danych empirycznych na dwa podzbiory. Jeden służył do estymacji modelu, natomiast drugi do jego weryfikacji. Podziału tego dokonano tak, aby podzbiór służący do budowy modelu składał się z  $n-1$  elementów, natomiast element nie wykorzystany w czasie estymacji modelu był zastosowany do jego weryfikacji. Zgodnie z tą zasadą każda obserwacja po kolei posłużyła do oceny określonego równania. W praktyce przy takim trybie postępowania weryfikacja modelu jest niezależna od estymacji [Kuchar 2001].

Podstawową miarą oceny dopasowania funkcji w tej procedurze był współczynnik korelacji wielokrotnej, który przy uwzględnieniu procedury weryfikacyjnej testem CV obliczono ze wzoru [Walpole i Myers 1993]:

$$RR_{\text{pred}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i,-1})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

gdzie:

- $y_i$  – wartości rzeczywiste (wielkość plonu, czas trwania międzyfaz lub relatywny termin wystąpienia fazy),
- $\hat{y}_{i,-1}$  – wielkości oszacowane za pomocą modelu z wykorzystaniem testu *Cross Validation* w wersji LOO,
- $\bar{y}$  – wartość średnia z próby,
- $n$  – liczba obserwacji.

Ze względu na budowę wzoru wartość  $RR_{\text{pred}} < 0$  oznaczała, że rozpatrywany model przybliżał rzeczywiste wartości rozpatrywanej zmiennej zależnej gorzej niż średnia arytmetyczna. W takich przypadkach przyjmowano  $RR_{\text{pred}} = 0$ .

Wnioskowanie o relacjach pomiędzy zmiennymi zależnymi a niezależnymi oparto na równaniach regresji, które pomyślnie ukończyły procedurę weryfikacyjną CV, tzn.  $RR_{\text{pred}}$  był istotny na poziomie  $\alpha$ , zgodnie z testem (F-Snedecora) dla współczynnika  $R^2$ .

## WYNIKI

W pierwszej grupie równań, które określały, w jakim stopniu długości poszczególnych międzyfaz rozwojowych, terminy ich pełni oraz warunki termiczne i opadowe panujące w określonych okresach rozwojowych determinowały plon pszenicy ozimej, ogólna liczba zbudowanych modeli regresji była stosunkowo niewielka (17 równań). Po zastosowaniu wstępnego kryterium (wartość współczynnika determinacji) wybrano 8 formuł, z których po dokonaniu zasadniczej procedury weryfikacyjnej tylko 3 stanowiły podstawę do dalszej analizy i wnioskowania (tab. 1). Należy zaznaczyć, że wartości współczynników determinacji predykcji ( $R^2_{\text{pred}}$ ) we wszystkich równaniach, które pomyślnie ukończyły procedurę weryfikacyjną, były ponad dwukrotnie niższe w porównaniu z odpowiednimi wartościami  $R^2$ .

Największą liczbę równań uzyskano dla zależności pomiędzy warunkami pogodowymi regionu a tempem rozwoju pszenicy. Spośród 45 zbudowanych modeli do dalszej analizy wybrano tylko te, które w co najmniej 35% wyjaśniały ogólną zmienność zmiennej objaśnianej. Ten warunek spełniało 17 z nich. W zależności od modelu współczynnik determinacji przyjmował wartości od 0,96 do 0,35 (tab. 2). Zastosowanie procedury weryfikacyjnej testem CV wykazało, że 7 spośród 17 weryfikowanych równań nie posiada żadnej zdolności predykcji, mimo że wartości zarówno  $R^2$ , jak i średniego bezwzględnego błędu prognozy dawały podstawę do przyjęcia modelu.

Analiza danych zawartych w tabeli 1 i 2 pokazuje, że wartości podstawowych miar dopasowania funkcji oddają faktyczną zdolność predykcijną równań.

Szczegółową analizę wartości modeli oraz technikę weryfikacyjną przedstawiano na dwóch charakterystycznych przykładach. Wartość  $R^2$  równania określającego termin dojrzałości woskowej pszenicy (tab. 3) wskazywała, że wyjaśniało ono w 77% zmienność zmiennej zależnej; współczynnik był istotny na poziomie  $\alpha = 0,01$ .

Tabela 1. Wartości podstawowych parametrów dopasowania funkcji określających zależności pomiędzy plonowaniem pszenicy a warunkami pogodowymi

Table 1. Value of basic parameters of function adjustment defining the effect of weather conditions on wheat yield

Zmienna zależna Dependent variable	Zmienne w modelu Variables in model	Liczba obserwacji Number of observations	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	E	RR <sub>pred</sub>
Plon Yield	P <sub>83-91</sub> ; T <sub>10-20</sub> ; T <sub>50-80</sub>	21	0,59**	0,49**	11,2	0,20(*)
	D <sub>22-30</sub> ; D <sub>10-20</sub> ; D <sub>00-10</sub> ; D <sub>30-50</sub>	21	0,58**	0,39(*)	11,1	0,0
	T <sub>00-10</sub> ; P <sub>50-83</sub> ; T <sub>83-91</sub> ; P <sub>10-20</sub> ; P <sub>83-91</sub> ; T <sub>50-83</sub> ; P <sub>00-10</sub>	25	0,51(*)	0,30	12,8	0,0
	D <sub>15IX-00</sub> ; D <sub>15IX-10</sub>	21	0,50**	0,45**	9,9	0,23(*)
	T <sub>30-50</sub> ; P <sub>00-10</sub> ; T <sub>10-20</sub> ; P <sub>30-50</sub>	25	0,48**	0,36(*)	14,5	0,0
	P <sub>15IX-83</sub> ; T <sub>15IX-83</sub> ; P <sub>15IX-00</sub> ; T <sub>15IX-30</sub>	25	0,43*	0,30	13,9	0,0
	P <sub>15IX-20</sub> ; P <sub>15IX-50</sub> ; T <sub>15IX-83</sub> ; T <sub>15IX-50</sub>	25	0,40*	0,26	9,6	0,0
	D <sub>30-50</sub> ; D <sub>00-20</sub>	25	0,37**	0,31*	13,5	0,14(*)

(\*), \*, \*\* istotność współczynnika determinacji odpowiednio na poziomie  $\alpha = 0,1; 0,05; 0,01$  – significance of coefficient of determination at  $\alpha = 0.1; 0.05; 0.01$ , respectively

Tabela 2. Wartości podstawowych parametrów dopasowania funkcji określających zależności pomiędzy tempem rozwoju pszenicy ozimej a warunkami pogodowymi

Table 2. Value of basic parameters of function adjustment defining the effect of weather conditions on winter wheat development rate

Zmienna zależna Dependent variable	Zmienne w modelu Variables in model	Liczba obserwacji Number of observations	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	E	RR <sub>pred</sub>
F <sub>00</sub>	T <sub>15IX-00</sub> ; P <sub>15IX-00</sub>	25	0,96**	0,95**	17,2	0,93**
D <sub>50-83</sub>	T <sub>50-83</sub> ; T <sub>30-50</sub> ; P <sub>10-20</sub>	25	0,89**	0,88**	3,9	0,84**
F <sub>10</sub>	T <sub>15IX-00</sub> ; P <sub>00-10</sub> ; T <sub>00-10</sub> ; P <sub>00-10</sub>	25	0,87**	0,83**	10,4	0,78**
D <sub>50-83</sub>	T <sub>50-83</sub> ; P <sub>50-83</sub> ; P <sub>22-30</sub> ; T <sub>10-20</sub> ; P <sub>10-20</sub> ; P <sub>00-10</sub> ; T <sub>22-30</sub> ; T <sub>00-10</sub>	25	0,87**	0,80**	2,3	0,56(*)
F <sub>10</sub>	T <sub>15IX-00</sub> ; P <sub>15IX-00</sub> ; T <sub>00-10</sub> ; P <sub>00-10</sub>	25	0,83**	0,79**	13,7	0,76**
D <sub>30-50</sub>	T <sub>30-50</sub> ; T <sub>22-30</sub> ; P <sub>22-30</sub> ; P <sub>10-20</sub> ; P <sub>00-10</sub>	21	0,83**	0,77**	10,4	0,57*
F <sub>83</sub>	P <sub>00-10</sub> ; T <sub>15IX-00</sub> ; P <sub>22-30</sub> ; P <sub>10-20</sub>	21	0,77**	0,70**	6,6	0,0
F <sub>20</sub>	P <sub>15IX-00</sub> ; P <sub>10-20</sub> ; T <sub>10-20</sub> ; T <sub>15IX-00</sub> ; T <sub>00-10</sub>	25	0,71**	0,62**	13,6	0,0
D <sub>50-83</sub>	T <sub>50-83</sub> ; T <sub>30-50</sub> ; P <sub>50-83</sub> ; P <sub>30-50</sub> ; P <sub>00-10</sub> ; T <sub>00-10</sub>	21	0,70**	0,57*	5,6	0,33
F <sub>50</sub>	P <sub>15IX-30</sub> ; P <sub>15IX-20</sub> ; T <sub>15IX-10</sub> ; T <sub>15IX-20</sub> ; P <sub>15IX-10</sub> ; P <sub>15IX-00</sub>	25	0,70**	0,58*	7,5	0,0
D <sub>00-10</sub>	T <sub>00-10</sub> ; P <sub>00-10</sub>	25	0,70**	0,67**	16,6	0,49**
F <sub>30</sub>	P <sub>15IX-10</sub> ; T <sub>15IX-10</sub> ; P <sub>15IX-00</sub>	21	0,57**	0,49**	10,0	0,0
F <sub>30</sub>	P <sub>22-30</sub> ; T <sub>15IX-00</sub> ; P <sub>00-10</sub> ; T <sub>10-20</sub>	25	0,54**	0,43*	9,9	0,0
D <sub>10-20</sub>	T <sub>10-20</sub> ; P <sub>10-20</sub>	25	0,54**	0,50**	24,6	0,43**
D <sub>30-50</sub>	T <sub>15IX-20</sub> ; P <sub>15IX-10</sub> ; P <sub>15IX-20</sub>	25	0,46**	0,39*	18,4	0,0
F <sub>91</sub>	P <sub>83-91</sub> ; P <sub>22-30</sub>	25	0,45**	0,40*	4,8	0,19(*)
F <sub>20</sub>	P <sub>15IX-10</sub> ; T <sub>15IX-10</sub>	21	0,35*	0,26	11,2	0,0

objaśnienia jak w tabeli 1 – for explanations, see Table 1

Średni błąd prognozy obliczony dla tego równania wyniósł tylko 6,6%, co wskazuje na dobre dopasowanie funkcji. Jednak po zastosowaniu testu CV obliczony współczynnik  $RR_{pred}$  uzyskał wartość zerową, dyskwalifikując całkowicie zbudowany model. Szacunki długości analizowanego okresu dokonane za pomocą modeli podstawowego i zweryfikowanego wykazały większe i częściej występujące rozbieżności w stosunku do wartości empirycznych, gdy obliczenia wykonane były po zastosowaniu testu.

Tabela 3. Współczynniki równania regresji wielokrotnej określającego termin dojrzałości woskowej pszenicy ozimej w relacji do warunków meteorologicznych (Chełchy 1971-1991)  
Table 3. Coefficients of multiple regression equation defining the number of days to wax maturity of winter wheat grain as a function of meteorological conditions (Chełchy 1971-1991)

Wyraz wolny oraz zmienne objaśniające równania regresji – Absolute term and independent variables in regression equations	Współczynniki w równaniu regresji Coefficients in regression equation
Wyraz wolny – Absolute term	140,7962**
$P_{00-10}$	1,0733**
$T_{15IX-00}$	0,1364**
$P_{22-30}$	0,1958*
$P_{10-20}$	-0,2605(*)

$R^2 = 0,77$ ;  $R^2_{adj} = 0,70$ ;  $F(4,16) = 13,39$

(\*), \*, \*\* istotność współczynnika regresji odpowiednio na poziomie  $\alpha = 0,1$ ; 0,05; 0,01 – significance of regression coefficient at  $\alpha = 0.1$ ; 0.05; 0.01, respectively

Oczywiście nie oznacza to, że w każdym przypadku, gdy  $R^2$  osiąga wysokie wartości, a średni bezwzględny błąd prognozy świadczy o dobrym dopasowaniu funkcji, zastosowanie testu CV zdyskwalifikuje ten model. Przeczy temu kolejne prezentowane równanie opisujące długość okresu kłoszenie – dojrzałość woskowa (tab. 4); w którym  $R^2$  osiągnął wartość 0,89 (współczynnik istotny na poziomie  $\alpha = 0,01$ ),  $R^2_{adj} = 0,88$ , zaś średni bezwzględny błąd relatywny wyniósł tylko 3,9%. Wyliczony współczynnik  $R^2_{pred} = 0,84$  potwierdził, że model posiada dużą zdolność predykcyjną. Po zastosowaniu testu CV różnice w szacunkach długości tej międzyfazy wahały się w granicach 1-2 dni.

Przytoczone przykłady przekonują, że dopiero przeprowadzenie weryfikacji zbudowanego równania metodą niezależną wskazuje na jego rzeczywistą wartość predykcji.

Tabela 4. Współczynniki równania regresji wielokrotnej określającego długość okresu kłoszenie – dojrzałość woskowa pszenicy ozimej w relacji do warunków meteorologicznych (Rychliki 1971-1995)

Table 4. Coefficients of multiple regression equation defining the number of days between earing stage and wax maturity of winter wheat grain as a function of meteorological conditions (Rychliki 1971-1995)

Wyraz wolny oraz zmienne objaśniające równania regresji – Absolute term and independent variables in regression equations	Współczynniki w równaniu regresji Coefficients in regression equation
Wyraz wolny – Absolute term	6,9951
$T_{50-83}$	0,0635**
$T_{30-50}$	-0,0214**
$P_{10-20}$	-0,0242

$R^2 = 0,89$ ;  $R^2_{adj} = 0,88$ ;  $F(3,21) = 58,8$

objaśnienia jak w tabeli 3 – for explanations, see Table 3

## DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Dokonana analiza zależności pomiędzy warunkami pogodowymi a rozwojem i plonowaniem pszenicy miała charakter studium na temat możliwości, jakie stwarzają w tym zakresie nowe techniki statystyczne. Statystyka bowiem jest narzędziem, z którego należy korzystać umiejętnie, a interpretacja wyników musi być w każdym przypadku bardzo zindywidualizowana. Jednocześnie wielowątkowe postępowanie sprawdzające uzyskane wyniki umożliwia zrozumienie, na czym polega przewaga określonych procedur nad innymi, a tym samym pozwala wnieść nieco spostrzeżeń istotnych dla samej metody analizy statystycznej.

W pracy zdecydowano się na zastosowanie dodatkowej procedury weryfikacyjnej testem *Cross Validation* (w wersji LOO) wobec wszystkich równań, które wyselekcjonowano wstępnie na podstawie wartości współczynnika determinacji. Przeprowadzenie testu CV okazało się ostrym narzędziem selekcyjnym, gdyż wykazało, że należy zdyskwalifikować niemal połowę weryfikowanych równań.

We wstępnej analizie dokonano obliczeń dla 62 konfiguracji zmiennych zależnych z niezależnymi. Oceniając generalnie rezultaty wykonanych oszacowań należy stwierdzić, iż sprawdzany statystycznie materiał liczbowy, przedstawiający warunki wzrostu, rozwoju i plonowania pszenicy w regionie północno-wschodniej Polski, pokazał istnienie dużej liczby istotnych związków statystycznych. Spośród zbudowanych równań uwzględniono tylko 25 modeli, które poddano weryfikacji testem CV. Po fazie testowania CV pozostało ich tylko 13.

W pierwszej grupie równań, które określały, w jakim stopniu długości poszczególnych międzyfaz rozwojowych, terminy pojawu pełni faz oraz warunki termiczne i opadowe panujące w określonych międzyfazach rozwojowych determinowały plon pszenicy, ogólna liczba zbudowanych równań regresji była stosunkowo niewielka. Dla trzech stacji regionu rozpatrywano w sumie 8 formuł, z których tylko trzy stanowiły podstawę do dalszej analizy i wnioskowania. Okazało się, iż nie dla wszystkich rozpatrywanych obiektów udało się utworzyć modele regresyjne wyjaśniające zmienność plonu, natomiast większość ze zbudowanych równań nie posiadała żadnej zdolności predykcji.

Poszukiwania zależności pomiędzy warunkami termicznymi i opadowymi przypisanymi do określonych międzyfaz a czasem ich trwania oraz terminami pełni kolejnych etapów rozwojowych roślin zaowocowały dużą liczbą utworzonych równań regresji. W pracy uwzględniono 17 formuł, które opisywały poszukiwane zależności. W większości przypadków minimalna wartość współczynnika determinacji wahała się w granicach 50%. Po przeprowadzeniu niezależnej weryfikacji testem CV odpowiedzi na postawione pytania szukano na podstawie 10 równań.

Wśród udowodnionych relacji stwierdzono większą wyrazistość wpływu elementów meteorologicznych na rozwój roślin w porównaniu z oddziaływaniem końcowym – na plon. Należy również zaznaczyć, iż wartości współczynników determinacji predykcji we wszystkich pomyślnie zweryfikowanych równaniach były zawsze niższe (niekiedy ponad dwukrotnie) w porównaniu z odpowiednimi wartościami  $R^2$ , co świadczy o tym, że zbudowane równania w mniejszym stopniu wyjaśniały ogólną zmienność zmiennej zależnej, a jednocześnie błąd predykcji był znacznie większy.

Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że:

– w sytuacji gdy istnieje niebezpieczeństwo przeparametryzowania modelu wartości podstawowych miar dopasowania funkcji ( $R^2$ ,  $R^2_{adj}$ , E) nie przesądzają o jej faktycz-

nej zdolności predykcji i niezbędna jest weryfikacja zbudowanych modeli na materiale niezależnym,

– predykcja plonu roślin na bazie danych meteorologicznych nie jest łatwa, zaś przydatność liniowych równań regresji do opisu zależności pogoda – plon jest ograniczona.

## PIŚMIENNICTWO

- Faber A., Błoch Z., Nieróbca A., Demidowicz G., Kaczyński L., 1996a. Symulacja wzrostu i plonowania pszenicy ozimej uprawianej w Polsce przy użyciu modelu WOFOST. I. Kalibracja modelu. *Fragm. Agronom.* XIII 4(52), 40-50.
- Faber A., Błoch Z., Nieróbca A., Demidowicz G., Kaczyński L., 1996b. Symulacja wzrostu i plonowania pszenicy ozimej uprawianej w Polsce przy użyciu modelu WOFOST. II. Weryfikacja modelu. *Fragm. Agronom.* XIII 4(52), 51-58.
- Koźmiński C., 1993. Prognozowanie plonów pszenicy ozimej w Polsce na podstawie opadów i ekstremalnego uwilgotnienia gleby. *Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Rolnictwo* 55, 3-32.
- Kuchar L., 2001. Ocena modeli matematycznych na podstawie testu typu *Cross Validation*. *Wyd. Inż. i Kształtowania Środ. SGGW w Warszawie, Przegl. Nauk.* 21, 165-170.
- Michaelson J., 1987. *Cross Validation in statistical Climate Forecast Models.* *J. Climate and Appl. Meteorol.* 26, 1589-1600.
- Penning de Vries F.W.T., 1977. Evaluation of simulation models in agriculture and biology: conclusions of workshop. *Agric. Systems* 2, 99-107.
- Rao C.R., 1987. Prediction of Future Observation in Growth Curve Models. *Statistical Sci.* 2, 434-471.
- Walpole R.E., Myers R.H., 1993. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists.* MacMillan Publ. Comp. New York.
- Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14, 415-421.

## WEATHER-CROP MODEL SELECTION BY *CROSS VALIDATION* TEST FOR WINTER WHEAT CULTIVATED IN NORTH-EASTERN POLAND

**Abstract.** The empirical data used in the present research cover the results of winter wheat cultivar experiments carried out over 1971-1995 and the weather observations reported by local meteorological stations in the north-eastern Poland. The study analysed the relations between winter wheat yielding and meteorological variables, including the yield linear trend, as well as relations between the beginning dates of full development stages of plants and the number of days at a given stage and the temperature and precipitation. Having defined the standard fitting method ( $R^2$ ,  $R^2_{adj}$ , E), each multiple regression model was verified with *Cross Validation (CV)* test, the LOO version, to obtain an independent evaluation method. The CV test showed an effective tool as it disqualified almost half of the equations. The significant effects showed a greater impact of weather conditions on plant development than on plant yield.

**Key words:** weather-crop models, winter wheat, verification, *Cross Validation* test

Otrzymano – Received: 02.04.2003  
Zaakceptowano – Accepted: 15.02.2004