

PLONOWANIE ŁUBINU ŻÓŁTEGO (ODM. JUNO) W ZALEŻNOŚCI  
OD ELEMENTÓW POGODOWYCH W PÓŁNOCNEJ POLSCE\*

*Krystyna Grabowska, Aneta Dymerska, Jan Grabowski, Katarzyna Pożarska*

Katedra Gospodarki Wodnej, Klimatologii i Kształtowania Środowiska  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
Pl. Łódzki 1, 10-724 Olsztyn  
e-mail: grabkrys@uwm.edu.pl

**Streszczenie.** Oddziaływanie warunków pogodowych na plonowanie łubinu żółtego odmiany Juno badano dla wielolecia 1986-2008. Materiał źródłowy pochodził z pięciu stacji doświadczalnych i meteorologicznych zlokalizowanych w północnej Polsce. W badaniach zastosowano metodę regresji wielokrotnej 1 i 2 stopnia, z krokowym wyborem zmiennych, a utworzone równania oceniono za pomocą współczynnika determinacji  $R^2$ , poprawionego współczynnika  $R^2_{adj}$  i procedury Cross Validation ( $R^2_{pred}$ ) oraz testu F-Snedecora. W badanych stacjach obserwowano wyraźne różnicowanie czynników pogodowych w poszczególnych latach, co miało znaczący wpływ na terminy rozpoczęcia i długość okresów rozwojowych oraz wysokość plonowania. Na podstawie utworzonych modeli pogoda-plon łubinu zweryfikowanych testem CV stwierdzono, że plonowanie odmiany Juno zależało głównie od temperatury maksymalnej okresu kwitnienia i minimalnej w początkowych etapach wzrostu rośliny.

Słowa kluczowe: elementy meteorologiczne, łubin żółty, plon

WSTĘP

Łubin żółty należy do grupy roślin strączkowych, a zainteresowanie jego uprawą na nasiona wzrasta ostatnio za sprawą programów rolno-środowiskowych. Charakteryzuje się wyjątkowo dużą zawartością białka, przydatnością do uprawy na glebach lekkich, jest cenną rośliną w zmianowaniu, wrażliwą na czynniki agrotechniczne i pogodowe. Mało jest w literaturze zagranicznej (Christiansen i in. 1997, Jansen 2008) i krajowej publikacji z zakresu pogoda-plon łubinów;

---

\* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2011 jako projekt badawczy

w ostatnich latach w Polsce lukę tę częściowo wypełniły badania Bieniaszewskiego i in. (2003, 2000), Bieniaszewskiego i Szwejkowskiego (2001), Dymerskiej i Grabowskiej (2014), Dymerskiej i in. (2012), Grabowskiej i in. (2010, 2010a), Szwejkowskiego i in. (2002, 2002a) oraz Szwejkowskiego i Bieniaszewskiego (2001). Niektóre z tych prac miały profil agrotechniczny, a przedstawione w nich warunki pogodowe – charakter wycinkowy. Niniejsza praca stanowi fragment badań prowadzonych w ramach projektu „Warunki pogodowe a agrofizjologia i plonowanie łubinów w północnej Polsce”. Podjęto w niej próbę ilościowego określenia reakcji jednej z odmian (Juno) łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.) na wybrane elementy meteorologiczne (promieniowanie całkowite, temperatura powietrza, opady atmosferyczne).

W tym celu zbudowano na każdy okres rozwoju modele regresyjne pogoda – plon łubinu odm. Juno, z uwzględnieniem specyfiki pogodowej północnej Polski. Następnie dokonano weryfikacji modeli procedurą Cross Validation. W zamierzeniu była taka konstrukcja modeli, które uwzględnią ważne dla plonowania rośliny zmienne pogodowe i jednocześnie takie, które są dostępne.

#### MATERIAŁ I METODY

Materiały o plonowaniu odmiany Juno pochodziły ze stacji doświadczalnych oceny odmian leżących w północnej Polsce (Białogard, Bobrowniki, Wyczechy, Nowa Wieś Ujska i Głodowo), z których pozyskano również informacje o terminach siewu, wystąpieniach podstawowych faz fenologicznych i o jej uprawie. Natomiast ze stacji meteorologicznych pracujących w miejscach doświadczeń otrzymano dane o warunkach termicznych i opadowych. Z powodu braku pomiarów promieniowania słonecznego w stacjach oszacowano jego wartości dobowe na podstawie wzoru Hunta i in. (1998). Doświadczenia obejmowały lata 1986-2008 (tab. 1).

**Tabela 1.** Wykaz stacji meteorologicznych oraz lata prowadzonych doświadczeń

**Table 1.** List of meteorological stations and the years of conducted experiments

Stacje doświadczalne / meteorologiczne Experimental / meteorological stations	Lata prowadzenia doświadczeń Years of conducted experiments
Białogard	1992-1998, 2001-2005, 2007-2008
Wyczechy	1992-2006
Nowa Wieś Ujska	1986-1989, 1991-1998, 2001-2008
Bobrowniki	1987-1989, 1991-1998, 2001-2005, 2007-2008
Głodowo	1986-2008

Do zbadania zależności pogoda-plon łubinu żółtego wykorzystano metodę regresji wielokrotnej z użyciem funkcji 1 i 2 stopnia z krokowym wyborem zmiennych. Dopasowanie modeli oceniono za pomocą współczynnika determinacji  $R^2$ ,

poprawionego współczynnika  $R^2_{adj}$  oraz współczynnika  $R^2_{pred}$ , wyznaczonego poprzez zastosowanie procedury Cross Validation, szczegółowo opisanej przez Kuchara (2001). Jej istotą jest wielokrotny podział danych na dwa podzbiory; jeden służy do estymacji parametrów modelu, drugi zaś do jego weryfikacji. Gdy wartość współczynnika  $R^2_{pred}$  nie odbiegała zbyt od statystyki  $R^2$  i gdy obie wartości były istotne, wówczas przyjmowano, że model został właściwie zbudowany i ma dobrą zdolność predykcyjną. W przeciwnym razie następowała jego dyskwalifikacja. Za pomocą testu F-Snedecora zbadano istotność równań regresji.

W dalszych analizach podstawowe zmienne określono następująco: promieniowanie całkowite – SR, temperatura maksymalna – Tmax, minimalna – Tmin, średnia – Tsr i opady atmosferyczne – P. W badanych stacjach zależności pogoda-plon odmiany Juno określono na kolejne okresy rozwojowe, tj. 1. siew-wschody, 2. wschody-początek kwitnienia, 3. początek kwitnienia-koniec kwitnienia, 4. koniec kwitnienia-dojrzałość techniczna.

#### Warunki doświadczeń i agrofrenologia łubinu żółtego (odm. Juno)

Współczesne odmiany łubinu ze względu na ich odmienną reakcję na warunki siedliskowe, a szczególnie pogodowe, są zróżnicowane zarówno pod względem morfologicznym, jak i użytkowym. W niniejszej pracy analizie poddano zgromadzony materiał o plonowaniu i uprawie łubinu żółtego odmiany Juno.

**Tabela 2.** Warunki glebowe doświadczeń z odmianą (Juno) łubinu żółtego  
**Table 2.** Field conditions of experiments with cultivar (Juno) of yellow lupin

Stacje doświadczałne Experimental stations	pH	Klasa gleby The class of soil	Kompleks rolniczej przydatności gleb The complex of agricultural usefulness of soil	Przedplon Forecrop
Białogard	5,2-7,2	IVa	5, 4 (6)	pszenica jara
Wyczechy	5,7-6,9	V (VI)	6 (5)	pszenżyto ozime, żyto ozime, owies
Nowa Wieś Ujska	5,2-6,5	IVa (V)	5 (6,4)	jęczmień jary, pszenica ozima, pszenżyto ozime
Bobrowniki	5,2-6,8	IVa, IIIb	4, 5	jęczmień jary, owies
Głodowo	5,2-6,9	IVa, IIIb	4, 5	jęczmień jary, owies (mieszanka zbożowa)

(6)\* występowanie sporadyczne / sporadicity occurrence

Doświadczenia prowadzono zgodnie z instrukcją COBORU (Metodyka... 1998), głównie na glebach kompleksu żyniego bardzo dobrego (4) i żyniego dobrego (5), najczęściej na glebach klasy IVa i IIIb (tab. 2). Odczyn gleb wahał się

od kwaśnego do obojętnego. Przedplonem łubinu najczęściej były zboża: jęczmień jary, pszenica jara i owies. Azot stosowano rzadko, przedsięwzięcie w ilości 25-30 kg·ha<sup>-1</sup> w formie saletry amonowej, nawozy fosforowo-potasowe wysiewano jesienią w dawce P – od 20 do 80 kg·ha<sup>-1</sup>, K – w dawce 40-160 kg·ha<sup>-1</sup>.

Dane dotyczące dat siewu, terminów występowania pojavów fenologicznych oraz długości okresów międzyfazowych przedstawiono w tabelach 3 i 4.

**Tabela 3.** Terminy siewu i faz fenologicznych łubinu żółtego odmiany Juno

**Table 3.** Terms of sowing and phenological phases of yellow lupin Juno cultivar

	Termin Term	Siew Sowing	Wschody Germination	Początek kwitnienia Beginning of flowering	Koniec kwitnienia End of flowering	Dojrzałość techniczna Complete maturity
Średni Average	B	6 IV	30 IV	18 VI	12 VII	12 VIII
	W	15 IV	30 IV	22 VI	14 VII	20 VIII
	NWU	7 IV	27 IV	17 VI	7 VII	6 VIII
	BO	5 IV	24 IV	13 VI	2 VII	2 VIII
	G	6 IV	28 IV	15 VI	7 VII	6 VIII
Najwcześniejszy The earliest	B	26 III	26 IV	10 VI	29 VI	28 VII
	W	7 IV	22 IV	12 VI	28 VI	31 VII
	NWU	31 III	15 IV	5 VI	17 VI	20 VII
	BO	21 III	10 IV	1 VI	16 VI	14 VII
	G	27 III	17 IV	4 VI	20 VI	19 VII
Najpóźniejszy The latest	B	20 IV	6 V	28 VI	29 VII	12 IX
	W	24 IV	5 V	30 VI	30 VII	10 X
	NWU	24 IV	4 V	26 VI	19 VII	2 IX
	BO	19 IV	4 V	28 VI	23 VII	20 VIII
	G	20 IV	4 V	29 VI	21 VII	1 IX

B – Białogard, W – Wyczechy, NWU – Nowa Wieś Ujska, BO – Bobrowniki, G – Głodowo

Do siewu odmiany przystępowano bezpośrednio po rozpoczęciu prac polowych. Średnia data to przedział od 5 kwietnia – w Bobrownikach – do 15 kwietnia w Wyczechach; 6 kwietnia siano ją w Białogardzie i Głodowie. Różnice między skrajnymi terminami siewu w poszczególnych stacjach i między stacjami były znaczne, sięgały od kilku do kilkunastu dni, i wahały się od 21 marca do 24 kwietnia. Wschody obserwowano przeciętnie po dwóch, trzech tygodniach od siewu (po 15 dniach w stacji Wyczechy, a po 25 dniach w Białogardzie), tj. w trzeciej dekadzie kwietnia. Początek kwitnienia zwykle przypadał na drugą dekadę czerwca, a koniec tego pojavu fenologicznego notowano najczęściej w pierwszej lub na początku drugiej dekady lipca. Okres kwitnienia trwał średnio od 20 do 24 dni, a najdłuższym (48-53 dni) – był czas od wschodów do początku kwitnienia. Dojrzałość techniczną łubin osiągał przeciętnie w 1 lub 2 dekadzie sierpnia. Najwcześniejsze osiągnięcie tej fazy zanotowano 2 sierpnia w stacji Bo-

browniki, a najpóźniej 20 sierpnia w Wyczechach. Na badanym obszarze średnia długość okresu od kwitnienia do dojrzałości technicznej była dość wyrównana i wahała się od 31 do 37, a długość całego okresu wegetacyjnego (siew-dojrzałość techniczna) od 120 do 129 dni (tab. 3 i 4).

**Tabela 4.** Długość okresów rozwojowych łubinu żółtego odmiany Juno (dni)  
**Table 4.** Duration of growth periods of yellow lupin Juno cultivar (days)

Okres Period	Średnia długość / Mean duration				
	Białogard	Wyczechy	Nowa Wieś Ujska	Bobrowniki	Głodowo
1	25	15	19	19	21
2	49	53	51	51	48
3	24	23	21	20	22
4	32	37	31	33	31
5	130	128	122	123	122

1 – siew-wschody / sowing-germination; 2 – wschody-początek kwitnienia / germination-beginning of flowering; 3 – początek kwitnienia-koniec kwitnienia / beginning of flowering-end of flowering; 4 – koniec kwitnienia-dojrzałość techniczna / end of flowering-complete maturity; 5 – siew-dojrzałość techniczna / sowing-complete maturity

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Statystyczna charakterystyka plonowania i warunków meteorologicznych

Wielkość plonów doświadczalnych odmiany Juno, jej statystyki, tj. średnie plony, ich maksima i minima oraz odchylenia standardowe i współczynniki zmienności w poszczególnych stacjach przedstawiono w tabeli 5.

**Tabela 5.** Statystyka opisowa plonów łubinu ( $t \cdot ha^{-1}$ )  
**Table 5.** Description statistic of lupine yield ( $t \cdot ha^{-1}$ )

Statystyki / Statistics	Białogard	Wyczechy	Nowa Wieś Ujska	Bobrowniki	Głodowo
$\bar{y}$	<b>2,1</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,9</b>	<b>2,3</b>
SD	0,8	0,8	0,6	0,7	0,9
CV	38,1	40,0	30,0	36,8	39,1
max	3,5	3,5	2,8	3,4	4,2
min	0,7	0,6	1,0	0,9	0,8

$\bar{y}$  – średni / mean; SD – odchylenie standardowe / standard deviation; CV – współczynnik zmienności (%) / coefficient of variation (%); max – maksimum; min – minimum

W badanych latach największe plony ( $2,3 t \cdot ha^{-1}$ ) osiągnięto w stacji Głodowo, następnie w Białogardzie –  $2,1 t \cdot ha^{-1}$ . Na jednakowym poziomie ( $2,0 t \cdot ha^{-1}$ ) kształtowały się w Wyczechach i Nowej Wsi Ujskiej, a najniższe były w Bobrownikach ( $1,9 t \cdot ha^{-1}$ ). Rozpiętość plonów była stosunkowo duża, maksymalne przewyższały

4,0 t·ha<sup>-1</sup>, ale w poszczególnych latach wykazano też niskie (najmniejsze osiągnęły zaledwie 0,6 t·ha<sup>-1</sup>) plony odmiany Juno, szczególnie w latach z niekorzystną dla nich sumą i rozkładem elementów meteorologicznych w czasie wegetacji.

**Tabela 6.** Statystyki opisowe dla zmiennych, które w regresji traktowano jako niezależne  
**Table 6.** Descriptive statistics for variables which are considered in regression as independent

	SR1	Tsr1	P1	SR2	Tsr2	P2	SR3	Tsr3	P3	SR4	Tsr4	P4
Białogard												
$\bar{x}$	340,1	8,2	30,6	990,1	13,9	94,6	473,4	16,9	77,2	575,4	18,4	83,6
SD	80,5	1,8	20,4	91,4	1,2	48,4	114,9	1,9	72,4	109,2	2,1	51,8
CV	23,7	22,0	66,7	9,2	8,6	51,2	24,3	11,2	93,8	19,0	11,4	62,0
max	494,0	12,0	67,0	1140,0	16,0	199,0	691,0	20,0	263,0	796,0	24,0	209,0
min	219,2	4,9	8,3	787,4	12,4	8,0	329,1	14,3	0,0	439,2	15,8	5,3
Wyczechy												
$\bar{x}$	238,7	9,3	19,6	1057,3	14,4	91,3	438,4	17,6	48,7	656,6	19,0	61,3
SD	32,5	2,8	18,1	65,2	1,7	52,4	117,7	2,3	42,8	124,0	3,1	45,0
CV	13,6	30,1	92,3	6,2	11,8	57,4	26,8	13,1	87,9	18,9	16,3	73,4
max	304,6	14,2	59,2	1139,9	17,5	166,1	651,5	22,4	158,8	865,6	26,5	158,4
min	191,8	3,3	0,0	901,0	12,0	0,0	267,8	14,4	0,0	398,7	14,0	0,0
Nowa Wieś Ujska												
$\bar{x}$	279,0	8,7	15,6	981,6	13,7	95,0	379,3	17,4	56,0	542,9	18,6	74,1
SD	72,7	2,3	16,4	111,9	1,6	39,8	75,4	1,6	46,3	112,7	1,9	36,5
CV	26,1	26,4	105,1	11,4	11,7	41,9	19,9	9,2	82,7	20,8	10,2	49,3
max	392,3	15,6	60,3	1179,3	16,5	157,6	521,7	19,9	153,1	747,1	23,0	148,8
min	172,1	5,4	0,2	744,3	9,8	9,0	206,3	14,4	1,9	366,8	14,8	28,6
Bobrowniki												
$\bar{x}$	235,3	7,5	14,1	945,5	13,8	77,0	369,9	17,5	47,8	535,1	18,3	70,5
SD	39,1	1,9	12,1	94,1	1,7	30,8	79,1	1,7	37,6	121,3	1,9	40,4
CV	16,6	25,3	85,8	10,0	12,3	40,0	21,4	9,7	78,7	22,7	10,4	57,3
max	334,5	12,7	53,1	1093,0	16,8	131,7	514,2	19,7	120,6	897,6	22,4	167,9
min	158,3	4,4	4,0	810,6	9,7	9,9	247,9	14,4	2,0	337,9	13,9	9,5
Głodowo												
$\bar{x}$	295,0	8,4	22,2	913,7	14,1	76,2	417,7	17,5	49,6	559,2	18,6	74,8
SD	57,3	1,5	16,5	76,1	1,3	31,5	76,0	1,5	32,9	87,0	1,9	35,0
CV	19,4	17,9	74,3	8,3	9,2	41,3	18,2	8,6	66,3	15,6	10,2	46,8
max	418,0	12,0	57,0	1078,0	17,0	136,0	583,0	20,0	133,0	735,0	23,0	149,0
min	188,7	4,9	0,0	790,2	12,0	27,4	280,7	14,6	5,6	410,5	14,9	8,6

$\bar{x}$  – średnia / mean value; SR – suma promieniowania / solar radiation (MJ m<sup>-2</sup>); Tsr – temperatura średnia / average temperature (°C); P – opad / precipitation (mm); objaśnienia: okresy 1-4, SD; CV, max, min jak w tabeli 4 i 5 / explanations: periods 1-4, SD, CV, max, min as in table 4 and 5

W tabeli 6 przedstawiono charakterystykę statystyczną wybranych wskaźników meteorologicznych, tj. sum promieniowania całkowitego, średniej dobowej temperatury powietrza i sum opadów atmosferycznych w okresach rozwoju odmiany Juno (łubin żółty), stanowiących tło wegetacji w badanych stacjach doświadczalnych. Analizując dane liczbowe, wykazano, że uwzględnione w opra-

cowaniu lata były zróżnicowane pod względem przebiegu pogody w okresie wegetacji łubinu, co powodowało wahania wysokości plonów.

W pierwszym okresie od siewu do wschodów wartości wszystkich omawianych elementów były najniższe; promieniowanie, we wszystkich stacjach zawierało się w przedziale ok. 235-340 MJ·m<sup>-2</sup>. W następnym, najdłuższym okresie międzyfazowym liczonym od wschodów do początku kwitnienia wynosiło 914-1057 MJ·m<sup>-2</sup>, w stadium kwitnienia 370-473 MJ·m<sup>-2</sup>, a w czasie od końca kwitnienia do dojrzałości technicznej 535-657 MJ·m<sup>-2</sup>.

Temperatura średnia w okresie siew-wschody wahała się od 7,5 do 9,3°C, potem jej wartości wzrosły do 13,7-14,4°C w czasie od wschodów do początku kwitnienia, i do 16,9-17,6°C w czasie kwitnienia, osiągając w ostatnim etapie rozwoju 18,3-19,0°C.

Sumy opadów na początku wegetacji (siew-wschody) przyjmowały wartości od 14,0 do ponad 30,0 mm. W następnym okresie sumy opadów zawierały się w szerokich granicach 76,0-95,0 mm, w stadium kwitnienia 48-77 mm, a w ostatnim przedziale koniec kwitnienia-dojrzałość techniczna 61-84 mm. W poszczególnych latach i agrofazach wartości ekstremalne opadów znacznie odbiegały od średnich, a opady minimalne często przyjmowały wartości równe zero.

#### **Modele regresji wielokrotnej pogoda-plon nasion łubinu odm. Juno**

W pracy analizowano wpływ elementów meteorologicznych: temperatury powietrza (maksymalnej, minimalnej i średniej), sum promieniowania całkowitego i opadów atmosferycznych na plonowanie odmiany Juno. Wyliczono je dla podokresów agrofenologicznych i całego okresu wegetacyjnego, gdyż relacje między wymienionymi wskaźnikami w różnych okresach rozwojowych są ważne dla uzyskania potencjalnego plonu rośliny.

W tabeli 7 przedstawiono wyselekcjonowane zmienne meteorologiczne wpływające na plonowanie odmiany w badanych stacjach, a w tabeli 8 – tylko równania, które przeszły pozytywnie procedurę Cross Validation, stanowiącą kryterium oceny dopasowania równań regresji. W opisie wyników kierowano się hierarchicznym układem równań (od najlepszych do najgorszych R<sup>2</sup> i R<sup>2</sup><sub>pred</sub>), skonstruowanych na każdą agrofazę, umożliwiających prognozowanie plonów na dowolnym etapie rozwoju rośliny i w momencie jej dojrzałości. Dokładność opisu wzrastała z zaawansowaniem wegetacji.

**Tabela 7.** Współczynniki determinacji, istotność i błędy standardowe równań regresji określających zależność między plonem łubinu żółtego odmiany Juno a zmiennymi meteorologicznymi (*SR, Tmax, Tmin, Tsr, P*)

**Table 7.** Coefficients of determination, significance and standard errors of the regression equations defining the relationship between the yield of yellow lupin Juno cultivar and meteorological variables (*SR, Tmax, Tmin, Tsr, P*)

Okres Period	Zmienne niezależne w równaniu regresji Independent variables in equation regression	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	R <sup>2</sup> <sub>pred</sub>	RMSE
Białogard						
1	SR1; P1; $\sum Tmax1^2$		0,35*	0,16	0	0,7
1-2	Tsr2		0,29**	0,23*	0,01	0,7
	Tsr2; P1 <sup>2</sup>		0,36*	0,25	0	0,7
	Tsr2; P1 <sup>2</sup> ; $\sum Tmax2$	14	0,54**	0,40	0,13	0,6
	Tsr2; P1 <sup>2</sup> ; $\sum Tmax2$ ; $\sum Tmax2^2$		0,68**	0,54	0,33	0,6
1-3	brak lepszych – lack of better					
1-4	Tsr2; $\sum Tmax4^2$		0,51**	0,42**	0,22	0,6
Wyczechy						
1	SR1 <sup>2</sup>		0,32**	0,26*	0,09	0,7
	SR1 <sup>2</sup> ; Tsr1 <sup>2</sup>		0,40*	0,29	0,06	0,7
1-2	brak lepszych – lack of better					
1-3	$\sum Tmin3$	14	0,41**	0,36**	0,23*	0,7
	$\sum Tmin3$ ; Tmin3 <sup>2</sup>		0,57***	0,50**	0,26	0,6
	$\sum Tmin3$ ; Tmin3 <sup>2</sup> ; $\sum Tmin3^2$		0,72***	0,64**	0,41	0,5
1-4	$\sum Tmin3$ ; Tmin3 <sup>2</sup> ; $\sum Tmin3^2$ ; Tsr4 <sup>2</sup>		0,85****	0,78***	0,17	0,4
Nowa Wieś Ujska						
1	Tmin1		0,23**	0,18*	0,08	0,5
1-2	Tmin1; P2 <sup>2</sup>		0,35**	0,26	0,10	0,5
	Tmin1; P2 <sup>2</sup> ; $\sum Tmax2$	18	0,40*	0,27	0,15	0,5
1-3	Tmin1; P2 <sup>2</sup> ; Tmax3		0,51**	0,40*	0,15	0,5
	Tmin1; P2 <sup>2</sup> ; Tmax3; Tmax3 <sup>2</sup>		0,72***	0,63***	0,49*	0,4
1-4	Tmin1; P2 <sup>2</sup> ; Tmax3; Tmax3 <sup>2</sup> ; Tmax2		0,91****	0,87****	0,77***	0,2
Bobrowniki						
1	–					
1-2	$\sum Tmin2$		0,24**	0,20*	0,11	0,7
	$\sum Tmin2$ ; Tsr2	18	0,34*	0,25	0,15	0,7
1-3	brak lepszych – lack of better					
1-4	$\sum Tmin2$ ; Tsr2; $\sum Tsr4$		0,40*	0,27	0,16	0,6
Głodowo						
1	–					
1-2	$\sum Tmin2$		0,29**	0,25**	0,17*	0,7
	$\sum Tmin2$ ; $\sum Tmin2^2$ ; $\sum Tmin1$	21	0,42**	0,32*	0,17	0,7
1-3	Tmax3		0,44***	0,41***	0,32***	0,7
1-4	Tmax3; Tmin4		0,60****	0,55****	0,44***	0,6

\*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\* – poziomy istotności / significance levels:  $\alpha = 0.1, 0.05, 0.01, 0.001$ ; N – liczba obserwacji / number of observations; <sup>2</sup> – funkcja kwadratowa / square function;  $\sum$  – suma czynnika za dany okres / the sum of the factor for the relevant period; okresy/– periods: 1 – siew-wschody / sowing-germination; 2 – wschody-początek kwitnienia / germination-beginning of flowering; 3 – początek kwitnienia-koniec kwitnienia / beginning of flowering-end of flowering; 4 – koniec kwitnienia-dojrzałość techniczna / end of flowering-complete maturity



**Tabela 8.** Wyselekcjonowane równania regresji dla stacji doświadczalnych po uwzględnieniu testu Cross Validation

**Table 8.** Selected regression equations for the experimental stations after taking into account the test Cross Validation

Okres Period	Równania regresji / Regression equations
	Wyczechy
1	–
1-2	–
1-3	$y = 0,4 + 0,007 \sum T_{min3}$
1-4	brak lepszych – lack of better
	Nowa Wieś Ujska
1	–
1-2	–
1-3	$y = 41,61 - 0,199 T_{min1} + 0,00004 P2^2 - 3,446 T_{max3} + 0,075 T_{max3}^2$
1-4	$y = 63,1 - 0,178 T_{min1} + 0,00005 P2^2 - 5,04 T_{max3} + 0,1 T_{max3}^2 - 0,1 \sum T_{max2}$
	Głódowo
1	–
1-2	$y = -1,95 + 0,01 \sum T_{min2}$
1-3	$y = 8,89 - 0,29 T_{max3}$
1-4	$y = 6,56 - 0,34 T_{max3} + 0,29 T_{min4}$

W stacji Nowa Wieś Ujska uzyskano generalnie wysokie wartości współczynników determinacji, które jednak tylko w dwóch równaniach osiągnęły istotny poziom, tzn. pozytywnie przeszły procedurę weryfikacyjną testem CV. Zbudowano je na dwa ostatnie okresy rozwoju rośliny. W pierwszym przypadku współczynnik determinacji  $R^2$  wyniósł 0,72,  $R^2_{adj} = 0,63$ ,  $R^2_{pred} = 0,49$ , a w okresie koniec kwitnienia-dojrzałość techniczna odpowiednio: 0,91 do 0,77. W skład równań weszły zmienne: temperatura minimalna okresu siew-wschody ( $T_{min1}$ ) oraz opady atmosferyczne w czasie wschody-początek kwitnienia i temperatura maksymalna w stadium kwitnienia ( $P2^2$ ,  $T_{max3}$ ,  $T_{max3}^2$ ) – zależności liniowe i kwadratowe. Ten ostatni czynnik występuje w równaniach ze znakiem ujemnym, tzn., że wyższe jego wartości od normy negatywnie oddziaływały na plon, co w swoich badaniach podkreślały też Dymerska i Grabowska (2014).

W Głódowie, utworzone dla odmiany trzy równania pozytywnie przeszły procedury weryfikacyjne. W zespole wskaźników przyjętych do analizy za okres 21-letni – suma temperatury minimalnej drugiej agrofazy ( $\sum T_{min2}$ ) lub temperatura maksymalna okresu kwitnienia ( $T_{max3}$ ) i dodatkowo temperatura minimalna w czasie od końca kwitnienia do dojrzałości technicznej ( $T_{min4}$ ) – odegrały znaczącą, dodatnią rolę w kształtowaniu plonu; równania osiągnęły wymagane kryterium ( $R^2_{pred} = 32$  i 44%).

Obliczenia przeprowadzone dla tej odmiany również dla Głódowa, ale dla krótszego – 17 letniego okresu (Dymerska i Grabowska 2014) – wyłoniły te same zmienne objaśniające dla początkowych agrofaz (do okresu kwitnienia), natomiast

w późniejszych etapach rozwoju rośliny o jej plonie decydowały: temperatura minimalna okresu siew-wschody i suma promieniowania całkowitego od wschodów do początku kwitnienia.

W stacji doświadczalnej w Wyczechach utworzono tylko jedno równanie regresji na okres kwitnienia, jako jedyne test Cross Validation przeszło pozytywnie, w którym współczynnik determinacji osiągnął wartość – 41%, natomiast statystyka  $R^2_{\text{pred}}$  decydująca o przydatności modelu – 23%. Zmienną objaśniającą w tym równaniu okazała się temperatura minimalna okresu kwitnienia ( $\sum T_{\text{min}3}$ ), której wyższe sumy sprzyjały wyższemu plonowaniu.

Równania zbudowane na inne okresy rozwojowe dla tej odmiany – mimo uzyskania wysokich współczynników determinacji – zostały zdyskwalifikowane przez test CV.

W tabeli 7 przedstawiono także współczynniki determinacji równań regresji utworzonych dla stacji Białogard i Bobrowniki. Jednakże nie utworzono tu dla odmiany Juno istotnych modeli, które przeszłyby pozytywnie procedurę Cross Validation, uzyskano też niskie współczynniki  $R^2$  i  $R^2_{\text{adj}}$ , a błędy wynosiły 0,6-0,7 t·ha<sup>-1</sup>.

Nieistotną dla plonowania odmiany w warunkach północnej Polski okazała się zmienna SR (promieniowanie całkowite), która odegrała znaczącą rolę w jej plonowaniu w stacjach Marianowo i Uhnin, położonych na wschodzie kraju (Dymerska i Grabowska 2014) oraz w plonowaniu innych odmian łubinu, np. Emir (Grabowska i in. 2010) lub innych roślin strączkowych, np. grochu siewnego (Grabowska 2004).

Wielu autorów (Bieniaszewski i in. 2003a, Januszewicz i Suchowilska 2003a,b, Krześlak i Sadowski 1997, Szwejkowski i Bieniaszewski 2001) podkreśla, że w rozwoju łubinów wyróżnia się dwa okresy krytyczne pod względem potrzeb wodnych, tj. kiełkowania oraz zawiązywania pąków, kwitnienia i formowania pierwszych strąków, gdy zarówno nadmiar jak i niedobór opadów miały wpływ na wysokość plonu.

W niniejszych badaniach suma opadów istotnie oddziaływała tylko w czasie od siewu do wschodów w stacji Białogard lub od wschodów do początku kwitnienia w stacji Nowa Wieś Ujska, jednak były to zależności kwadratowe, świadczące o korzystnym wpływie umiarkowanych wartości tego parametru. Ogromne znaczenie ma tu fakt, że łubin żółty mający głęboki system korzeniowy może czerpać wodę z głębszych warstw gleby. W istotnych równaniach, które pomyślnie przeszły wszystkie procedury weryfikacyjne, większe znaczenie można przypisać wartościom temperatury ekstremalnej.

## WNIOSKI

1. W latach badań (1986-2008), w poszczególnych stacjach doświadczalnych zlokalizowanych na terenie Polski północnej obserwowano wyraźne zróżnicowanie elementów pogodowych w kolejnych okresach wzrostu i rozwoju łubinu żółtego (odm. Juno), co znacząco wpływało na terminy siewu, pojawów fenologicznych, długość trwania okresów rozwojowych i wysokość plonowania.
2. Na podstawie skonstruowanych i zweryfikowanych testem Cross Validation modeli stwierdzono zależność plonowania:
  - w stacji Wyczechy – od temperatury minimalnej (okresu kwitnienia),
  - w stacji Nowa Wieś Ujska – od temperatury minimalnej (siew-wschody), od sumy opadów atmosferycznych (wschody-początek kwitnienia) i od temperatury maksymalnej (kwitnienie) – funkcja liniowa i kwadratowa,
  - w stacji Głodowo – od temperatury minimalnej okresów wschody-początek kwitnienia i koniec kwitnienia-dojrzałość techniczna oraz od temperatury maksymalnej okresu kwitnienia,
  - w stacjach Białogard i Bobrowniki – nie uzyskano istotnych równań.
3. Zbadane zależności pogoda-plon nasion łubinu żółtego odmiany Juno dają możliwość praktycznego wykorzystania utworzonych modeli do oszacowania przyszłych plonów.

## PIŚMIENNICTWO

- Bieniaszewski T., Fordoński G., Kurowski T., Szwejkowski Z., 2003. Wpływ poziomu wilgotności gleby na wzrost i plonowanie tradycyjnych i samokończących form łubinu żółtego. Cz. I. Wzrost, rozwój i zdrowotność roślin. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 495, 95-106.
- Bieniaszewski T., Szwejkowski Z., 2001. Wpływ różnych poziomów wilgotności gleby i stosowanej zaprawy nasiennej na wzrost, rozwój i plonowanie dwóch genotypów łubinu żółtego. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rol., 81(426), 53-68.
- Bieniaszewski T., Szwejkowski Z., Fordoński G., 2000. Impact of temperature and rainfall distribution over 1989-1996 on the biometric and structural characteristics as well as on the Juno yellow lupin yielding. EJPAU, 3(2), #02 Online: <http://www.ejpau.media.pl/volume3/issue2/agronomy/art-02.html>.
- Christiansen J.L., Jørnsgård B., Holm G., Clausen M., 1997. Influence of temperature, day length and sowing date on canopy development and yield stability in determinate and an indeterminate variety of *Lupinus angustifolius* L., W: Łubin we współczesnym rolnictwie. Mat. konf. Łubin-Białko-Ekologia, Olsztyn-Kortowo 25-27.06.1997, 1, 205-212.
- Dymerska A., Grabowska K., 2014. Prognozowanie plonów łubinu żółtego w zależności od wybranych scenariuszy zmian klimatu. Acta Agrophysica, Monographiae, 2, 1-98.
- Dymerska A., Grabowska K., Banaszkiwicz B., 2012. Warunki pogodowe a plonowanie łubinu wąskolistnego (*Lupinus angustifolius* L.) w północnej Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 12, 2(38), 121-132.

- Grabowska K., 2004. Matematyczne modelowanie plonowania grochu siewnego w oparciu o czynniki meteorologiczne. Wyd. UWM, Rozprawy i monografie, 99, 1-86 (rozprawa habilitacyjna).
- Grabowska K., Banaszekiewicz B., Dymerska A., 2010. Weather conditions vs. agrophenology and yielding of *Lupinus angustifolius* in north-eastern Poland. W: Agrometeorology Research. Red. J. Leśny. Acta Agrophisica, 185(6), 111-122.
- Grabowska K., Dymerska A., Banaszekiewicz B., 2010a. Weather conditions and their effect on yield of yellow lupin (*Lupinus luteus* L.) in the north-west of Poland. Agro 2010, the XI ESA Congress (European Society for Agronomy), Montpellier, France, 713-714.
- Hunt L.A., Kuchar L., Swanton C. J., 1998. Estimation of solar radiation for use in crop modeling. Agric. For. Meteorol., V. 91, 293-300.
- Jansen G., 2008. Effects of temperature on yield and protein content of *Lupinus angustifolius* cultivars. W: Lupins for Health and Wealth. Eds. J. A. Palta, J. B. Berger. Proceedings of the 12th International Lupin Conference, 14-18 Sept. 2008, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand, 342-345.
- Januszewicz E.K., Suchowilska E., 2003a. Reakcja na susze nowych odmian łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.). Cz. I Reakcja na suszę posiewna. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 495, 27-37.
- Januszewicz E.K., Suchowilska E., 2003b. Reakcja na susze nowych odmian łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.). Cz. II Reakcja na suszę łubinu żółtego w fazie kwitnienia i plonowania. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 495, 39-49.
- Kuchar L., 2001. Evaluation of Mathematical Models Using Cross Validation Test, Przegl. Nauk. Wydz. Inż. Kszt. Środ. SGGW (in Polish) 21, 165-170.
- Krześlak S., Sadowski T., 1997. Plonowanie łubinu żółtego, łubinu wąskolistnego i grochu pastewnego uprawianych w okolicach Kętrzyna. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 446, 271-275.
- Metodyka Badania Wartości Gospodarczej (WGO) Roślin Uprawnych, 1998. 1. Rośliny Rolnicze. 1. 2. Strączkowe. Wydanie I, Słupia Wielka.
- Szwejkowski Z., Bieniaszewski T., Fordoński G., 2002. The correlations between surface temperature and monthly sums of precipitation on the growth and yield of yellow lupine. Agro & Forest Meteorology. American Meteorological Society, 25, 23-24
- Szwejkowski Z., Bieniaszewski T., Wiatr K., Fordoński G., 2002. The effect of temperature and precipitation on the growth and yield of yellow lupine in Poland. Polish Journal of Natural Sciences, 10(1), 31-42.
- Szwejkowski Z., Bieniaszewski T., 2001. Wpływ warunków klimatycznych na plonowanie i cechy jakościowo-strukturalne trzech odmian łubinu żółtego. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu 426, 143-155.

YIELDING OF YELLOW LUPIN (JUNO CULTIVAR) DEPENDING ON  
METEOROLOGICAL FACTORS IN NORTHERN POLAND

*Krystyna Grabowska, Aneta Dymerska, Jan Grabowski, Katarzyna Pożarska*

Department of Water, Climate and Environmental Management  
University of Warmia and Mazury in Olsztyn  
ul. Plac Łódzki 1, 10-724 Olsztyn  
e-mail: grabkrys@uwm.edu.pl

**Abstract.** The impact of weather conditions on the yield of yellow lupin Juno cultivar was performed for the years 1986-2008. The source material came from five experimental and meteorological stations located in northern Poland. The research used multiple regression method with stepwise choice of variables and the created equations were evaluated using the coefficient of determination  $R^2$ , adjusted coefficient of determination  $R^2_{adj}$ , Cross Validation procedure ( $R^2_{pred}$ ) and F-Snedecor test. In the studied stations observed considerable variation of weather factors in different years, which had a significant impact on the date of beginning and length of periods of yellow lupin development and the amount of yield. Based on created weather – yield of lupin models verified by CV test, it was found that the yield of Juno cultivar depended mainly on the maximum temperature of flowering and the minimum temperature in the initial stages of plant growth.

**Key words:** meteorological elements, yellow lupin, yield