ACTA AGROPHYSICA
MONOGRAPHIAE

PROGNOZOWANIE PLONÓW ŁUBINU ŻÓŁTEGO W ZALEŻNOŚCI OD WYBRANYCH SCENARIUSZY ZMIAN KLIMATU

Aneta Dymerska, Krystyna Grabowska

Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie

2014 (2)

Redaktor Naczelny – Józef Horabik
Zastępca Redaktora Naczelnego – Grzegorz Józefaciuk
Sekretarz Redakcji – Wanda Woźniak
Redaktor Tematyczny – Jerzy Lipiec
Redaktor Statystyczny – Stanisława Roczkowska-Chmaj
Redaktor Języka Polskiego – Barbara Pietrasiewicz
Redaktor Języka Angielskiego – Tomasz Bylica

Rada Redakcyjna
Dorota Witrowa-Rajchert – Przewodnicząca

Andrey Alekseev, Rosja
Tadeusz Filipek, Polska
Jarosław Frączek, Polska
Werner Herppich, Niemcy
Andrzej Lenart, Polska
Janusz Olejnik, Polska
Leonid Mura . sky, Ukraina
Viliam Novák, Słowacja
Josef Pecen, Czechy
Pedro Aguado Rodriguez, Hiszpania
István Seres, Węgry
Stanisław Skonecki, Polska
Jerzy Weres, Polska
Gerd Wessolek, Niemcy

Opiniował do druku:
Antoni Faber

Adres redakcji
Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Wydawnictwo
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin, tel. (81) 744-50-61, www.ipan.lublin.pl

©Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2014

Streszczenia i pełne teksty prac dostępne są na stronie internetowej czasopisma www.acta-agrophysica-monographiae.org

Wersja pierwotna wszystkich zeszytów to wersja drukowana

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

ISSN 2084-3429, ISBN 978-83-89969-28-6

Acta Agrophysica są do nabycia w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie. Prenumeratę instytucjonalną można zamawiać w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie oraz w oddziałach firmy Kolporter S.A. na terenie całego kraju. Informacje pod numerem infolinii 0801-205-555 lub na stronie internetowej http://www.kolporter-spolka-akcyjna.com.pl/prenumerata.asp

Wydanie I. Nakład 130 egz., ark. 7,4
Skład komputerowy: Wanda Woźniak
Druk: *ALF-GRAF*, ul. Abramowicka 6, 20-391 Lublin

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP 5
2. PRZEGLĄD LITERATURY 6
   2.1. Literatura dotycząca modelowania plonowania roślin uprawnych i scenariuszy klimatycznych stosowanych w prognozowaniu plonów roślin 6
   2.2. Znaczenie roślin strączkowych oraz wpływ wybranych czynników meteorologicznych na plonowanie łubinu żółtego 16
3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ 25
4. WARUNKI UPRAWY I AGROFENOLOGIA ŁUBINU ŻÓŁTEGO 32
   4.1. Warunki prowadzenia doświadczeń COBORU 32
   4.2. Agrofenologia wybranych odmian łubinu żółtego 34
5. WYNIKI BADAŃ 37
   5.1. Statystyczna charakterystyka plonowania 37
   5.2. Statystyczna charakterystyka warunków meteorologicznych 38
   5.3. Korelacje między plonem łubinu a zmiennymi niezależnymi 42
   5.4. Modele pogoda-plon w kolejnych okresach rozwojowych łubinu ... 44
   5.5. Przykłady wykorzystania modeli do prognozy plonów łubinu żółtego 56
      5.5.1. Odmiana Juno 56
      5.5.2. Odmiana Parys 61
6. DYSKUSJA 65
7. WNIOSKI 72
8. PIŚMIENNICTWO 73
9. STRESZCZENIE 88
10. SUMMARY 89
11. ZAŁĄCZNIK 90

1. WSTĘP

Efektywność produkcji roślinnej zależy od wielkości, jakości i stabilności uzyskiwanych plonów, a wartość plonu od jego wysokości i plonu składnika, dla którego roślina jest uprawiana. W przypadku roślin strączkowych, zasadniczym celem produkcji jest zapewnienie odpowiedniej ilości białka – podstawowego składnika budulcowego, niezbędnego dla wzrostu i rozwoju organizmów. Niekorzystne warunki klimatyczne zarówno w Polsce, jak i w całej Europie sprawiają, że narasta problem zaspokojenia zapotrzebowania na białko roślinne. Zdecydowana część tego deficytu jest obecnie pokrywana przez import śruty sojowej produkowanej z nasion GMO. Realizowany w latach 2011-2015 wieloletni program „Ulepszanie krajowych źródeł białka roślinnego, ich produkcji, systemu obrotu i wykorzystania w paszach" opracowany w Ministerstwie Rolnictwa i Rozwoju Wsi, a przyjęty uchwałą Rady Ministrów nr 149/2011 z dnia 9 sierpnia 2011 r., ma na celu zmniejszenie importu białka paszowego o około 50%. Planowany wzrost rodzimej produkcji białka roślinnego ma zostać osiągnięty m.in. poprzez wzrost powierzchni upraw roślin strączkowych ze 180 do 500 tys. ha oraz poprzez wzrost plonowania o 0,2 $t \cdot ha^{-1}$. System dopłat do upraw roślin strączkowych i motylkowatych drobnonasiennych w plonie głównym, wprowadzony w 2010 roku, już zwiększył zainteresowanie rolników ich uprawą. Od 2012 r. pula środków przeznaczonych na ten cel uległa zwiększeniu z 10,8 do 30,0 mln euro rocznie. Specjalna płatność obszarowa do powierzchni uprawy tych roślin w 2011 r. wyniosła 219,53 $zł \cdot ha^{-1}$, a w 2012 r. – 672,56 $zł \cdot ha^{-1}$.

Klimat Polski nie sprzyja uprawie soi, jest natomiast odpowiedni dla innych roślin strączkowych, również dla łubinu – rośliny o najwyższej zawartości białka, najniższych wymaganiach glebowych i krótkim okresie wegetacji. Można ją uprawiać na terenie całego kraju, nawet na słabych glebach Mazowsza i Podlasia.

Łubin, oprócz tego, że jest źródłem białka o korzystnym składzie aminokwasowym i niskiej zawartości substancji nieżywieniowych w nasionach, przynosi też inne korzyści gospodarcze i ekologiczne. Dzięki zdolności wiązania azotu atmosferycznego, nie tylko nie wymaga nawożenia azotem, ale też pozostawia dużą ilość tego pierwiastka w glebie dla roślin następczych. Głęboki system korzeniowy poprawia strukturę i stosunki wodno-powietrzne gleby oraz pobiera z głębszych warstw profilu glebowego wypłukane związki wapnia, fosforu i potasu, a następnie przemieszcza je poprzez resztki pożniwne do płytszych warstw.

Uprawa łubinu pozwala ograniczyć nawożenie mineralne, co ma znaczenie ekonomiczne, ale także ekologiczne, ponieważ wpływa na poprawę czystości wód.

Wobec tych licznych zalet łubinu, areał jego uprawy powinien być zwiększany w najbliższych latach, a w przyszłości utrzymywać się na stale wysokim poziomie. Zasadniczą więc sprawą jest poznanie, od jakich czynników zależy po-

wodzenie uprawy łubinu oraz jaki wpływ na kolejne etapy jego wegetacji i plonowanie wywierają czynniki siedliskowe, w szczególności meteorologiczne. Ponadto, w związku z zachodzącymi zmianami klimatycznymi wynikającymi z globalnego ocieplenia, pojawia się pytanie o ryzyko i opłacalność uprawy łubinu w przyszłości. Należy więc podejmować badania, których efektem będzie ocena wpływu przewidywanych nowych warunków pogodowych na plonowanie roślin uprawnych. W niniejszej pracy wpływ ten został pokazany na przykładzie łubinu żółtego uprawianego we wschodniej Polsce, w kontekście adaptacji jego uprawy do zmian klimatu.

Cel ten starano się zrealizować, precyzując następujące cele cząstkowe:

- oszacowanie dobowych wartości promieniowania całkowitego przydatnych do modelowania związków pogoda-plon według metody Hunta i in. (1998),
- opracowanie statystycznej charakterystyki warunków meteorologicznych i plonowania łubinu żółtego w poszczególnych miejscowościach,
- analiza istotnych korelacji między plonem dwóch odmian łubinu żółtego a zmiennymi meteorologicznymi,
- zbudowanie modeli regresyjnych (regresja wielokrotna) pogoda-plon łubinu dla kolejnych etapów wzrostu i rozwoju rośliny, przy uwzględnieniu podstawowych czynników meteorologicznych, w tym promieniowania całkowitego, wskaźnika bardzo rzadko do tej pory stosowanego w Polsce,
- weryfikacja modeli za pomocą testu *Cross Validation*,
- prognozowanie plonów łubinu przy założeniu trzech, najbardziej prawdopodobnych dla Europy Środkowej, scenariuszy zmian klimatu (GISS, HadCM3, GFDL).

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Literatura dotycząca modelowania plonowania roślin uprawnych i scenariuszy klimatycznych stosowanych w prognozowaniu plonów roślin

W ostatnich latach obserwuje się olbrzymi rozwój metod matematycznego modelowania plonowania roślin uprawnych w zależności od czynników siedliskowych, w tym warunków pogodowych. Ten wzrost zainteresowania wykorzystaniem modeli w rolnictwie wynika między innymi z poszukiwania nowych narzędzi do wyjaśniania skomplikowanych uwarunkowań plonotwórczych oraz sposobów kompensacji stale malejącej liczby ścisłych doświadczeń polowych, których modele nie mogą zupełnie zastąpić, ale mogą przyczynić się do ich lepszej interpretacji i oszczędniejszego wydatkowania środków na nowe eksperymenty rolnicze (Faber 1998). Modele pogoda-plon, tak w literaturze określane są modele opisujące zależności między czynnikami meteorologicznymi a plonem

roślin uprawnych (Baier 1979, Górski 1996, Horie i in. 1992, Kuchar 1987, Robertson 1983, Rojek 1987, Rozbicki 2007), mają szerokie zastosowanie: wspomagają podejmowanie decyzji i planowanie działalności produkcyjnej w rolnictwie, bezpośrednio prognozują wysokość i jakość plonów, służą do oceny ryzyka upraw, do określenia rolniczych efektów spodziewanych zmian klimatu, sporządzania ogólnych map bonitacyjnych agroklimatu, określania wartości plonotwórczej elementów meteorologicznych (Rozbicki 2007). Modele wpływają na rozwój i systematyzowanie wiedzy dotyczącej związków rośliny z jej środowiskiem, odgrywają także pewną rolę w dydaktyce (Górski 2004). Należy więc podejmować dalsze badania nad wpływem warunków pogodowych na wzrost, rozwój i plonowanie roślin, opracowywać nowe modele i udoskonalać już istniejące, gdyż ma to szczególne znaczenie w aspekcie zmieniającego się klimatu.

Modele prognozowania plonów roślin są różnie klasyfikowane, np. ze względu na przeznaczenie, zastosowane zmienne modelowe lub użyte metody (Kuchar 1996). Wybór kryterium klasyfikacyjnego i podział modeli na różne kategorie zależy od preferencji autora opracowania i specyfiki dziedziny będącej przedmiotem rozważań (Piętka 1998).

Biorąc pod uwagę charakter i strukturę prognozowanych zjawisk, prognozy można podzielić na ilościowe (wynik wyrażony liczbowo) i jakościowe (wynik wyrażony opisowo). Prognozy ilościowe, często stosowane do prognozowania w rolnictwie (Stańko 1994), powstają z wykorzystaniem metod matematyki i statystyki. Wśród nich wyróżnia się metody projekcyjne bazujące na modelu przeszłych zdarzeń oraz metody przyczynowe, polegające na analizach przyczyn i ich skutkach (Filipiak 2009). Metody predykcji, czyli reguły pozwalające wyznaczyć najlepsze w danych warunkach przybliżenie przyszłej realizacji zmiennej prognozowanej, ze względu na sposób wykorzystywania informacji uzyskanych z analizy przeszłości do wnioskowania o przyszłości, można podzielić na ekstrapolacyjne, przyczynowe i adaptacyjne (Filipiak 2009).

W ostatnich latach, wśród ilościowych metod prognozowania w rolnictwie, pojawiły się metody niekonwencjonalne, bazujące na sztucznej inteligencji, nazywane algorytmami biologicznymi, takie jak sztuczne sieci neuronowe, logika rozmyta, algorytmy genetyczne, programy ewolucyjne (Dach i in. 2001, Filipiak 2009, Niedbała i in. 2005).

W literaturze często jako podstawowy, uznawany jest podział metod prognostycznych według Zeliasia (1984) na matematyczno-statystyczne i niematematyczne (Krasowicz 2009, Krasowicz i Filipiak 1996, Sroka i in. 2008, Stańko 1994). Wśród metod matematyczno-statystycznych wykorzystujących modele ekonometryczne, jednymi z bardziej popularnych są metody oparte na analizie i prognozowaniu szeregów czasowych. Należą do nich metody ekstrapolacyjne, czyli klasyczne modele trendu oraz metody adaptacyjne, takie jak metoda wy-

równania wykładniczego (model Browna, Holta) i model trendu pełzającego (Błoch 1999, Krasowicz i Filipiak 1996, Sroka i in. 2008). Spośród metod niematematycznych w rolnictwie stosowane są metody heurystyczne (intuicyjne), kolejnych przybliżeń, analogowe i inne, np. wiodącego czynnika (Krasowicz 2009, Krasowicz i Filipiak 1996).

Inny podział modeli prognostycznych wyróżnia dwie kategorie: deterministyczne, gdy wszystkie wielkości w modelu mają charakter zmiennych rzeczywistych (nielosowych) i stochastyczne, gdy niektóre wielkości są zmiennymi losowymi (Faber 1996, Mądry 1995), a ze względu na wykorzystywane metody matematyczne – dzielą się na dynamiczne (deterministyczne) i statystyczne (Kuchar 1987, 2009a, Rojek 1987).

Górski (1996) wyróżnił modele statystyczno-empiryczne, symulacyjne (deterministyczne) i pośrednie, założył bowiem, że skrajne typy stanowią tylko pewną ideę, w praktyce raczej nieosiągalną. Modele statystyczno-empiryczne mimo wielu słabości wypadają dobrze w konfrontacji z modelami symulacyjnymi, zwłaszcza w przypadku prognoz w dużych regionach. Aby stosować modele empiryczne poza regionem, dla którego powstały, konieczne jest dokonanie ich modyfikacji (Górski 1996).

Modele deterministyczne (proste i złożone) są modelami dynamicznymi, gdyż zmienność parametrów istotnych dla plonu końcowego jest w nich rozpatrywana w czasie. Struktura prostych modeli deterministycznych uwzględnia trzy zasadnicze procesy fizjologiczne: rozwój, wzrost i produkcję biomasy. Uproszczony opis tych procesów sprowadzany jest z reguły do kilku ogólnych zasad, jak np.: rozwój fenologiczny jest funkcją temperatury i długości dnia, przyrost masy jest proporcjonalny do przyjętego lub zaabsorbowanego promieniowania, a indeks powierzchni liści LAI, indeks żniwny oraz współczynnik konwersji promieniowania na suchą masę są zależne od temperatury (Horie i in. 1992, Faber 1996).

Złożone modele deterministyczne mają bardziej rozbudowaną strukturę i szczegółowy opis procesów fizjologicznych. Pozwalają symulować m.in. wzrost i rozwój roślin, plon oraz plon ograniczony niedoborem składników pokarmowych i wody, a także bilans wody i azotu dla danej uprawy (Faber 1996). Symulacje, czyli odtwarzanie w warunkach sztucznych przy pomocy modelu pewnego zjawiska lub procesu występującego w rzeczywistości (Mądry 1995 za Słownik Agro-Bio-Techniczny 1992), przeprowadzane są za pomocą komputerów według algorytmu wynikającego z modelu matematycznego, który jest wtedy określany jako model symulacyjny (Mądry 1995).

Pierwsze proste symulacyjne modele roślinne (ang. *crop simulation models* lub *crop models*) powstały w latach 60-tych XX wieku (ELCROS, BACROS), służyły one do obliczania produkcji potencjalnej. Następnie powstały modele uwzględniające wpływ niedoboru wody i składników mineralnych na wielkość

produkcji, a opracowane w ostatnich latach ulepszone wersje symulacyjnych modeli roślinnych uwzględniają także wpływ stresów biotycznych (np. występowanie szkodników) na plonowanie roślin (np. DSSAT). Niektóre modele uwzględniają wpływ szeregu zabiegów agrotechnicznych na przebieg procesów w układzie gleba-roślina-atmosfera (np. DAISY, CropSyst, EPIC). Holenderski model WOFOST został wykorzystany jako jeden z elementów monitorowania stanu upraw w Unii Europejskiej. Często nowy model symulacyjny powstaje z połączenia kilku podprogramów, takich jak ELCROS, BACROS, SUCROS, które wcześniej były już samodzielnymi programami (Penning de Varies i van Laar 1982). Z literatury znane są między innymi modele: MACROS, NCSWAP, CROPGRO, CORNF, COTTAM (Mądry 1995, Pietkiewicz i Pala 2002).

Modelowanie wzrostu, rozwoju i plonowania roślin za pomocą modeli symulacyjnych jest częstym tematem poruszanym na konferencjach międzynarodowych, a na kongresach Europejskiego Towarzystwa Agronomicznego – ESA (ang. *European Society for Agronomy*), organizowanych co dwa lata od 1990 roku, oprócz obrad sekcji modelowania matematycznego i prognozowania plonów, przeprowadzane są także kursy modelowania. Na przykład, na XI kongresie ESA w Montpellier (Francja) w 2010 r. przedstawiono badania z wykorzystaniem modeli: ADEL Wheat, APSIM, DAISY, STICS, WOFOST oraz zaprezentowano nowe rozwiązania: CROSPAL, SUNFLO, APES, MONICA i inne (Proceedings of Agro2010).

Istniejące złożone modele służące do predykcji plonów dotyczą najczęściej podstawowych roślin uprawnych, np. zbóż jarych i ozimych (CERES Wheat, Rice, barley, maize, sorgum), roślin okopowych (POTATO, SIMPOTATO); rzadko natomiast strączkowych (BEANGRO, SOYGRO), przy braku praktycznie modeli umożliwiających prognozowanie plonów łubinu w Polsce. Jedynie model APSIM (McCown i in. 1995) dzięki dodatkowemu modułowi, pozwala na prognozowanie wzrostu i plonu tej rośliny, ale został dostosowany do warunków Zachodniej Australii i ośmiu tamtejszych odmian łubinu wąskolistnego, a ostateczny plon i indeks LAI sprawdzono tylko dla dwóch odmian (Merrit i Gungurru). Model nie był testowany dla warunków Polski i polskich odmian łubinu (http://www.apsim.info/Wiki/Lupin.ashx). Podobnie symulacyjny model LUPINMOD, który opracowano dla łubinu białego, testowano tylko w śródziemnomorskich warunkach południowej Hiszpanii (Fernández i in. 1996). Statystyczny model wzrostu merystemu wierzchołkowego ozimej odmiany łubinu białego we Francji zaprezentował Huyghe (1991).

Skutki zmian klimatu mają charakter globalny i wpływają na wiele dziedzin życia, w tym znacząco na produkcję rolną. Zagrożenia związane ze zmianami klimatu mobilizują do podejmowania badań sprzyjających utrzymaniu stabilności tej dziedziny gospodarki (Parry i in. 2004, 2005). Zmiany klimatu będą różnorodnie wpływały na rolnictwo w różnych częściach świata; rozpoznanie problemu winno być

zatem prowadzone nie tylko w skali globalnej, czy nawet regionalnej, lecz też w skali pojedynczego gospodarstwa (Batchelar i in. 2002, Jones i in. 2000).

W badaniach dotyczących zmian klimatu stosowane są dwa podejścia: empiryczne – polegające na wykorzystywaniu informacji zawartych w historycznych ciągach danych obserwowanych oraz dynamiczne – oparte na zastosowaniu matematycznych modeli symulacyjnych (Wyszyński i in. 2008). W drugim podejściu do symulacji zmian systemu klimatycznego używane są trójwymiarowe modele ogólnej cyrkulacji atmosfery – GCM (ang. *General Circulation Models*; McGuffie i Henderson-Sellers 1997) lub bardziej zaawansowane, trójwymiarowe modele ogólnej cyrkulacji atmosfery i oceanu – AOGCM (ang. *Atmosphere-Ocean General Circulation Models*), w których procesy fizyczne zachodzące w atmosferze, oceanie, kriosferze i na powierzchni Ziemi opisane są za pomocą równań numerycznych lub są parametryzowane. Modele GCM i AOGCM są odpowiednimi, najbardziej zaawansowanymi i dostępnymi narzędziami badania wpływu zwiększającego się stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze na klimat Ziemi. Pozwalają uwzględnić różne scenariusze rozwoju społeczno-ekonomicznego świata, dając w efekcie różne wyniki symulacji, zależne od przewidywanych emisji gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń (Wyszyński i in. 2008). W badaniach modelowych stosowany jest najczęściej zestaw scenariuszy emisji GHGs (ang. *greenhouse gases*) opracowany przez Międzyrządowy Panel do Spraw Zmian Klimatu (IPCC) i opisany w Specjalnym Raporcie o Scenariuszach Emisji – SRES (ang. *Special Report of Emissions Scenarios*; Nakicenovic i Swart 2000). Scenariusze zakładają różne tempo rozwoju gospodarczego i wzrostu ekonomicznego, różne priorytety ekologiczne i zróżnicowane nasilenie działań łagodzących presję klimatyczną. Dzielą się na cztery grupy:

A1. Bardzo gwałtowny rozwój ekonomiczny świata, populacja osiąga maksimum w połowie stulecia, szybkie wdrażanie nowych i bardzo wydajnych technologii. Wyrównanie poziomu cywilizacyjnego i poziomu dochodowości między regionami poprzez zwiększoną współpracę gospodarczą i migrację ludności. Scenariusz wyróżnia trzy drogi rozwoju energetyki: intensywne wykorzystanie paliw kopalnych (A1FI), wykorzystanie alternatywnych (niekopalnych) zasobów energii (A1T) oraz zrównoważone wykorzystanie wszystkich źródeł (A1B).

A2. Stały, wysoki przyrost naturalny. Świat bardzo różnorodny gospodarczo, rozwój ekonomiczny powolny, zorientowany regionalnie z najmniejszymi zmianami technologicznymi w porównaniu do innych scenariuszy, duża przepaść między bogatymi a biednymi, zróżnicowana dochodowość ludności. Potrzeby energetyczne zaspakajane głównie przez spalanie paliw kopalnych.

B1. Świat konwergentny, z tą samą ścieżką rozwoju populacji jak w A1 i podobnym wyrównaniem warunków ekonomicznych i socjalnych, ale z bardziej gwałtownymi zmianami struktury ekonomicznej usług i informacji. Redukcja

materiałochłonności, zrównoważony rozwój, ale bez szczególnego przeciwdziałania zmianom klimatu, wykraczającego poza zobowiązania z Kioto. Wprowadzanie nowych, oszczędnych i czystych technologii.

B2. Średni wzrost ekonomiczny, redukcja materiałochłonności, zrównoważony rozwój przy zachowaniu lokalnych rozwiązań ekonomicznych, socjalnych i regionalnego zróżnicowania tempa rozwoju. Wzrost populacji podobny jak w A2, lecz mniejszy. Scenariusz pośredni między B1 i A1 – ukierunkowany na zrównoważony rozwój i równowagę socjalną, ale w ramach lokalnej specyfiki kulturowej.

W skali globalnej wszystkie modele klimatu przewidują wzrost (o różną wartość) temperatury powietrza przy powierzchni Ziemi oraz wzrost opadów. Zmiana temperatury (°C) w latach 2090-2099 w stosunku do lat 1980-1999 wyniesie od 1,1-2,9 (wartość „najlepiej szacowana": 1,8) według najbardziej łagodnego scenariusza B1 do 2,4-6,4 (wartość „najlepiej szacowana": 4,0) według najbardziej radykalnego scenariusza A1FI (IPCC 2007). Scenariusze typu B, opracowane przy założeniu zrównoważonego rozwoju środowiska, prognozują na ogół niższą temperaturę niż scenariusze typu A.

W Europie Środkowej w latach 2040-2070, według badań Liszewskiej i Osuch (2002), większe wzrosty temperatury w porównaniu do okresu referencyjnego 1961-1990 przewidywane są w lecie w części południowej i południowo-wschodniej – do 5°C, natomiast zimą – w regionach północno-wschodnich – nawet o 7-9°C według symulacji modeli ECHAM4 i JCCSR. Opady we wszystkich latach wyraźnie zmniejszą się na południu, a zwiększą na północy Europy.

Prognozy rocznych przebiegów temperatury w Polsce w połowie XXI wieku (Liszewska i Osuch 2000, 2002) wskazują na: cieplejsze zimy (według niektórych symulacji bez ujemnych temperatur) i wydłużenie pory letniej. Natomiast w przypadku opadów brak jest wyraźnej tendencji zmian.

Poważną wadą wszystkich prognoz zmian klimatu jest fakt, że wykorzystywane w modelach wartości emisji GHGs są trudne do precyzyjnego określenia i przyjmowane są a priori, zgodnie z założonym scenariuszem rozwoju SRES (Wyszyński i in. 2008).

Modele ogólnej cyrkulacji atmosferycznej różnią się między sobą parametryzacją procesów fizycznych i technikami numerycznymi stosowanymi do rozwiązywania równań. Występują duże różnice szczególnie w mezoskalowych rozkładach charakterystyk klimatycznych. Mimo, że symulacje umożliwiają zrozumienie praw fizycznych rządzących ruchem w atmosferze, ciągle jednak nie są w pełni zgodne z obserwacjami, zwłaszcza w skali regionalnej. Dlatego interpretacja wyników modeli powinna być ostrożna, a uzyskane rozkłady zmiennych meteorologicznych i hydrologicznych traktowane tylko jako pewne możliwe scenariusze klimatyczne, a nie jako dokładne prognozy zmian klimatu (Liszewska 1996). Dopóki wyniki projekcji będą obarczone niepewnością, mogą służyć jedy-

nie do wskazania pewnego kierunku możliwych zmian, które należy interpretować i analizować, natomiast dokonywanie na ich podstawie ocen ilościowych będzie wiązało się z ryzykiem błędu (Liszewska 2004).

Prezentowane w ostatnich latach w literaturze oceny możliwych skutków wpływu zmian klimatu na gospodarkę i społeczeństwo w Polsce są najczęściej oparte na scenariuszach klimatycznych dla Europy opracowanych w projekcie PRUDENCE (ang. *Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining EuropeaN Climate change risks and Effects*; http://prudence.dmi.dk) lub zawartych w IV Raporcie Oceniającym IPCC (*Climate Change* 2007). W obu przypadkach podstawą symulacji są scenariusze SRES.

W projekcie PRUDENCE (Christensen i Christensen 2007, Christensen i in. 2007a) symulacje wykonano dla dwóch scenariuszy SRES – A2 i B2, przy zastosowaniu dwóch modeli globalnej cyrkulacji GCM: ECHAM4 i HadAM3H oraz dwóch regionalnych modeli klimatu RCM (ang. *Regional Climate Models*): HIRHAM i RCAO. Wyniki scenariuszy klimatycznych opracowanych dla Europy na lata 2071-2100 według A2 wskazują na wzrost średniej rocznej temperatury powietrza w stosunku do lat 1961-1990 o około 3,5°C na większości obszaru Polski, a w południowej i wschodniej części kraju nawet o 4,0°C. Projekcje zimowe wykonane z wykorzystaniem różnych zestawów modeli wykazują wzrost temperatury od 3,0 do 6,0°C. Generalnie, według wszystkich modeli najniższy wzrost temperatury przewidywany jest w Polsce północno-zachodniej. Prognozy opadów atmosferycznych według scenariuszy klimatycznych opracowanych w projekcie PRUDENCE nie są już tak jednoznaczne. Model HadCM3/HIRHAM przewiduje, że średnia roczna suma opadów na terenie Polski wzrośnie o 10% w porównaniu do sumy z lat 1961-1990, a w górach pozostanie na podobnym poziomie. Prognozy sezonowe wskazują, że w lipcu i sierpniu nastąpi zmniejszenie sumy opadów o około 40% z jednoczesnym wzrostem częstości opadów ekstremalnych. Latem może więc nastąpić wzrost zagrożenia w wyniku susz i powodzi. W symulacjach na podstawie danych Hadley Centre i Max-Plank Institute for Meteorology spadek opadów w porze letniej waha się między 10 a 40%, natomiast w porze zimowej może nastąpić wzrost opadów o około 20-30%.

W IV Raporcie IPCC (Christensen i in. 2007b) projekcje temperatury wykonane za pomocą 21 modeli są bardzo zbliżone do PRUDENCE, mimo wyraźnych różnic pomiędzy wynikami poszczególnych modeli. Dla części Europy, w której leży Polska, zakres wzrostu średniej rocznej temperatury w latach 2090-2099 w porównaniu do 1980-1999 w scenariuszu A1B wynosi 2,3-5,3°C, przy wartości mediany ocieplenia 3,2°C. Wartość mediany ocieplenia dla zimy wynosi 4,3°C, dla wiosny – 3,1°C, lata – 2,7°C, a dla jesieni – 2,9°C. Dla obszaru Polski projekcje przewidują wzrost średniej rocznej temperatury o 3,0-3,5°C. Zimą wzrost temperatury wyniesie 3,5-5,0°C i będzie wyższy w części wschodniej, a niższy

w zachodniej, natomiast latem nastąpi wzrost o 3,0-3,5°C – wyższy na południu, niższy na północy. Przewidywany zakres wzrostu opadów rocznych w latach 2080-2099 w porównaniu do lat 1980-1999 wyniesie od 0 do 16%, przy wartości mediany 9%. Rozkład zmian w sezonach nie jest równomierny, najbardziej wzrosną opady zimowe. Mediana dla zimy wynosi +15%, podczas gdy dla wiosny +12%, a dla jesieni +8%. Projekcje opadów letnich (czerwiec-sierpień) i zmienne zależne od opadów mają różny kierunek zmian, w zależności od modelu. Wartość mediany wynosi +2%, ale niektóre modele w IV Raporcie IPCC przewidują w Europie wzrost opadów letnich, a inne spadek. Na terenie Polski projekcje przewidują zmianę sumy opadów rocznych od 0 do +15% oraz wzrost opadów zimą o 10-20%, zwłaszcza na południu kraju. Latem nastąpi spadek opadów na południu, a wzrost na północy – wartość mediany zmian waha się od –5 do +5%. Rozbieżności scenariuszy dotyczące tendencji opadów atmosferycznych stanowią główne źródło niepewności w prognozowaniu warunków prowadzenia działalności rolniczej (Kozyra i Górski 2008).

Obserwowana wyraźna tendencja wzrostu globalnej temperatury jest dowodem na poparcie hipotezy, że klimat ziemski się ociepla (Kundzewicz i Kędziora 2010). Według raportów IPCC klimat w Europie ocieplił się w ubiegłym stuleciu prawie o 1°C i była to wartość wyższa w porównaniu ze średnią światową. W Europie Północnej zwiększyły się opady deszczu i śniegu, natomiast w Europie Południowej coraz częściej występują susze. Prognozy klimatyczne dla Europy wykazują dalszy wzrost temperatury w tempie 0,1-0,4°C na dekadę.

Badania na podstawie notowań stacji meteorologicznych wykazały, że na obszarze Polski średnia roczna temperatura powietrza w XX wieku wzrosła o około 0,9°C (Kożuchowski i Żmudzka 2001, Zawora 2005, Żmudzka 2009), a w ostatnim 20-leciu XX i na początku XXI wieku nastąpiło wyraźne zwiększenie tempa ocieplenia, które zaznaczyło się nie tylko w sezonie zimowo-wiosennym (styczeń-maj), ale także w ciepłej porze roku (Fortuniak i in. 2001, Żmudzka 2004, 2009, Michalska 2009). W latach 1981-2006 tempo wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza wzrosło z 0,018 na 0,020°C na rok (Żmudzka 2009). Gdy analizowano lata 1966-2006, istotny statystycznie trend przyjął wartość 0,25°C, a w okresie 1987-2006 – 0,33°C na 10 lat (Mager i in. 2009). Od 1987 widoczny jest stopniowy wzrost temperatury, z niewielkim odstępstwem w latach 1996 i 1997 (Michalska 2009, Żmudzka 2009). Największy wzrost temperatury powietrza w latach 1951-2005 stwierdzono w lutym – od około 0,4°C na 10 lat w południowej części kraju (Kraków) do około 0,7°C na północy (Suwałki) (Michalska 2011). Dziesięciolecie 2000-2009 okazało się najcieplejszym od początku globalnych obserwacji temperatury (Kundzewicz i Kędziora 2010). W przypadku opadów atmosferycznych nie stwierdzono wyraźnych tendencji (Mager i in. 2009, Żmudzka 2004, 2009). Zaobserwowano natomiast, w wyniku wzrostu temperatury

i usłonecznienia, obniżanie się klimatycznego bilansu wodnego w miesiącach maj-czerwiec. Po 2000 roku przyjmuje on wartości niższe od średniej z lat 1961-1990. Skutkuje to częstszym występowaniem niedoborów wody w glebie, a w konsekwencji susz (Kozyra i in. 2009). W ostatnich latach w Polsce obserwowane jest nasilenie ekstremalnych zjawisk pogodowych, głównie opadów intensywnych, powodzi oraz susz, a prognozy wykazują, że w przyszłości nastąpi ich dalsza intensyfikacja (Górski 2002, Kuchar i Bac 2001, Kundzewicz i in. 2006b, Kundzewicz i Kędziora 2010, Kundzewicz i Kozyra 2011, Koźmiński i Michalska 2010, Łabędzki 2004, 2009).

Czwarty Raport IPCC (2007) oprócz wzrostu temperatury powietrza na powierzchni Ziemi wskazuje na podnoszenie się poziomu wody w oceanach, zanikanie lodowców górskich oraz zmniejszanie się zasięgu lodu w obszarach arktycznych i antarktycznych. W wielu regionach świata, i w Europie, globalne ocieplenie zwiększy częstotliwość występowania i intensywność niekorzystnych dla rolnictwa ekstremalnych zjawisk związanych z pogodą (krótko- i długookresowych), takich jak: susze, fale upałów, intensywne opady, burze, powodzie i osuwiska, silne wiatry, tropikalne cyklony, gwałtowne spadki temperatury i śnieżyce (Alcamo i in. 2007, Kozyra i in. 2009, Hirabayshi i in. 2008, Kundzewicz i Kędziora 2010, Kundzewicz i Kozyra 2011, Lehner 2006, Simota 2009, Solomon i in. 2007).

Rolnictwo to sektor gospodarki, który będzie najbardziej narażony na oczekiwane, niekorzystne zmiany klimatyczne. Wzrost temperatury i zmniejszenie się sumy opadów lub zmiana ich struktury oraz zwiększona ilość zjawisk ekstremalnych wpłyną przede wszystkim na produkcję roślinną. Wrażliwość i odporność upraw na zachodzące zmiany będzie zależeć nie tylko od gatunku i stosunków wodno-termicznych, lecz także od powierzchni upraw, specjalizacji produkcji rolnej oraz w znacznym stopniu od świadomości rolników. Przewidywane zmiany klimatu wpłyną na zbiory, gospodarkę hodowlaną i lokalizację produkcji, co może przyczynić się do obniżenia dochodów gospodarstw rolnych (Sadowski 2008b).

W Europie Centralnej wystąpią też pozytywne skutki ocieplenia: ulegnie poprawie potencjalna przydatność obszarów do celów rolniczych, możliwa będzie uprawa na szerszą skalę roślin ciepłolubnych (kukurydza, winorośl, soja, proso, słonecznik) oraz uprawa w większym zakresie międzyplonów i poplonów ścierniskowych, zwiększy się produktywność roślin energetycznych i pastwisk w wyniku wydłużenia okresu wegetacyjnego i wzrostu sumy opadów w zimie. Wzrost temperatury wpłynie jednak nie tylko na przyśpieszenie tempa rozwoju roślin uprawnych, ale także chwastów. Zmianie ulegnie też zasięg występowania chorób i szkodników, przez co staną się one bardziej uciążliwe dla rolnictwa (Bis i in. 1993, Kozyra i in. 2009, Lipa 1997a,b, Sadowski 1996). W skali globalnej obserwowane będą przede wszystkim negatywne skutki ocieplenia, natomiast w wyż-

szych szerokościach geograficznych, np. w Polsce zmiany klimatu mogą przynieść nie tylko zagrożenia, ale też szanse (Kundzewicz i Kozyra 2011).

Pierwszą próbę oceny ekonomicznych konsekwencji zmian klimatu w rolnictwie polskim podjęto na początku lat 90-tych (Bis 1993), wkrótce po ukazaniu się I Raportu IPCC (1990). Bis i in. (1993), na podstawie wyników uzyskanych przy użyciu modelu GISS GCM, dokonali wstępnej prognozy zmian agroklimatu, zmian w produkcji roślinnej (w strukturze zasiewów i poziomie plonów roślin uprawnych) i zwierzęcej, w bilansie substancji organicznej w glebie oraz przedstawili możliwe zmiany wskaźników ekonomicznych rolnictwa, a także zadania dla nauki i doradztwa rolniczego. Następnie, w opracowaniu pod redakcją Sadowskiego (1996), przedstawiono strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz kierunki działań, jakie należy podjąć w celu ograniczenia negatywnego wpływu zmian klimatu na polską gospodarkę. Bardziej szczegółowe analizy oraz strategie adaptacji polskiego rolnictwa do zmian klimatycznych przedstawili Górski i Kuś w 1997 roku (Kozyra i Górski 2008). W kolejnych latach ukazało się wiele artykułów na temat zmian klimatu i ich wpływu na produkcję rolniczą, w szczególności roślinną oraz dotyczących adaptacji polskiego rolnictwa do zachodzących i spodziewanych zmian klimatu (Barczyk 1999, Barczyk i in. 1999, Demidowicz i in. 1999, Deputat 1999, Górski 2002, Kędziora 2010, Kędziora i in. 2009, Kozyra i Górski 2008, Kozyra i in. 2009, Kozyra i in. 2010, Ratajkiewicz 2009, Sadowski 2008a,b, Stuczyński i in. 2000, Szwejkowski i in. 2008a,b, 2009a,b).

Problem adaptacji do obserwowanych zmian klimatu stał się obecnie jednym z najważniejszych wyzwań dla rolnictwa. Inicjatywy dotyczące oceny zagrożeń powodowanych zmianami klimatycznymi oraz budowania polityki klimatycznej podejmowane są w Unii Europejskiej i w poszczególnych krajach (Kozyra i in. 2009), np. w postaci programów wspierania polityki rolnej (Eitzinger i Kubu 2009). Tak zwany „Program działań z Nairobi nad oddziaływaniem, wrażliwością i adaptacją do zmian klimatu" (Decyzja... 2005), przyjęty w listopadzie 2006 roku, przewiduje konieczność włączenia się krajów do oceny możliwego wpływu zmian klimatu na różne dziedziny życia i stworzenie strategii adaptacyjnych. Unia Europejska, mając na celu wdrożenie tego programu, opracowała Zieloną i Białą Księgę [COM(2007), COM(2009)], nakreślając ramy działań na rzecz dostosowania do oczekiwanych zmian klimatu. W akcji COST 734: „Wpływ zmian klimatu i zmienności klimatycznej na europejskie rolnictwo: CLIVAGRI" (Orlandini 2009; http://www.cost734.eu) brali udział również przedstawiciele z Polski. Projekt ADAGIO (ang. *Adaptation of Agriculture in European Regions at Environmental Risk Under Climatic Change*; http://www.adagio-eu.org), w Polsce prowadzony przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, miał na celu zebrać dotychczasowe rezultaty badań z zakresu oceny potencjalnych skutków zmian klimatycznych w rolnictwie poszczególnych krajów, a następnie je rozpowszech-

nić i popularyzować. W efekcie tego projektu ukazały się artykuły i monografie, m.in.: Eitzinger i Kubu (2009), Serba i in. (2009), Leśny (2009), Leśny i in. (2010), Koźmiński i in. (2010). Przez Instytut Ochrony Środowiska w Warszawie we współpracy z innymi jednostkami została opracowana *Adaptacja produkcji rolnej w województwie podlaskim do oczekiwanych zmian klimatu* (Sadowski i in. 2009). Odbywają się konferencje naukowe o tematyce dotyczącej zmian klimatu, których efektem są raporty, takie jak opracowany przez Fundację na Rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa pt. *Zmiany klimatu a rolnictwo i obszary wiejskie* (http://www.fdpa.org.pl). Powstają informatyczne systemy wspomagające podejmowanie decyzji i dostosowywanie prac w gospodarstwie do warunków pogodowych w danym roku, np. Wielkopolski Internetowy Serwis Informacji Agrometeorologicznej (WISIA; http://www.agrometeo.pl), System Monitoringu Suszy Rolniczej (SMSR; http://www.susza.iung.pulawy.pl), Serwis Systemów Wspomagania Decyzji (http://www.zazi.iung.pulawy.pl), a wśród nich „Internetowy system wspomagający podejmowanie decyzji w integrowanej ochronie roślin" (http://www.ipo.iung.pulawy.pl).

Wobec powyższych przykładów można stwierdzić, że znaczna część pracy związanej z oceną potrzeb adaptacyjnych w Polsce już została wykonana. Istnieje jednak potrzeba jak najszybszego utworzenia programu adaptacyjnego dla całego kraju, gdyż w innych państwach członkowskich Unii Europejskiej strategie adaptacyjne do zmian klimatu są w trakcie opracowywania lub wdrażania (Kozyra i in. 2009). Ocena zmian klimatycznych i opracowanie sposobów reakcji na to zjawisko to wyzwanie naukowe, polityczne i praktyczne dla obecnych i przyszłych pokoleń (Wilkin 2008).

2.2. Znaczenie roślin strączkowych oraz wpływ wybranych czynników meteorologicznych na plonowanie łubinu żółtego

Łubin żółty to gatunek należący do rodziny bobowatych, inaczej motylkowatych – *Fabaceae* (*Papilionaceae*) gruboziarnistych, zwyczajowo nazywanych strączkowymi. Do tej grupy należą przeważnie rośliny jednoroczne, uprawiane na nasiona, na zieloną masę lub kiszonkę w celu uzyskania wartościowej, wysokobiałkowej paszy (Jasińska i Kotecki 2003, Faligowska i Szukała 2007, 2009, Podleśny 2008, 2009) oraz w mieszankach międzyodmianowych (Bieniaszewski i in. 2007a.b, Szukała i in. 2003) i międzygatunkowych, głównie zbożowo-strączkowych (Kotecki i in. 1997, Kotecki i in. 2003a,b, Kotwica i Rudnicki 2003, Księżak 2007, Rudnicki 1997, Szałajda 1997, Szczygielski 1993), które jednocześnie zwiększają bioróżnorodność pól uprawnych (Buraczyńska i Ceglarek 2009).

Wykorzystywane jako zielony nawóz (zwłaszcza łubin żółty) poprawiają właściwości gleb lekkich, ich strukturę, stosunki wodno-powietrzne oraz żyzność,

spełniają funkcje fitosanitarne i fitomelioracyjne. Dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi wzbogacają glebę w azot, a głęboki system korzeniowy, u łubinu żółtego sięgający nawet do 2 m, pozwala im czerpać wodę i składniki pokarmowe oraz uruchamiać, niedostępne dla innych roślin uprawnych, związki fosforu i wapnia z głębszych warstw gleby. Rośliny strączkowe odgrywają również ważną rolę w zmianowaniu, przerywając częste następstwo zbóż po sobie oraz stanowią doskonały przedplon dla gatunków ozimych. Po zbiorze nasion pozostawiają w glebie, oprócz azotu, także substancję organiczną w postaci resztek pożniwnych (korzenie, słoma) zasobnych w makro- i mikroelementy (Jasińska i Kotecki 1993, 2001, 2003, Stawiński 2007). Dzienia i Romek (1993) na podstawie badań własnych i innych autorów podają, że efekt następczy uprawy roślin strączkowych w płodozmianie ocenia się na 0,2-0,6 ton ziarna zbóż z hektara. Krześlak i Sadowski (1997a) wykazali wartość przedplonową łubinu żółtego w postaci wzrostu plonu żyta ozimego o 15,4% na glebie kompleksu żytniego dobrego i aż o 54,7% na glebie kompleksu żytniego słabego oraz plonu jęczmienia jarego odpowiednio o 6,4 i 25,4% w porównaniu z przedplonem zbożowym. Regeneracyjne znaczenie łubinu żółtego jako przedplonu zbóż na glebie kompleksu żytniego słabego w północno-wschodniej Polsce potwierdziły także badania Sadowskiego i in. (2000). Efektywność plonotwórcza łubinu dla pszenżyta ozimego wyniosła 20%, jęczmienia jarego – 9,5%, żyta ozimego – 9,3%, mieszanki jęczmienia z owsem – 6,5%.

Poza typowymi dla wszystkich strączkowych właściwościami proekologicznymi, ich nasiona zawierają najwięcej białka (42-44%) spośród wszystkich roślin uprawnych, a jego wartość biologiczna jest wyższa niż białka zbóż. Dla porównania, w ziarnie zbóż zawartość białka wynosi 9-18%, a w podziemnych częściach roślin okopowych tylko 1-2%. Ze względu na wysoką zawartość białka w nasionach łubin może stanowić cenny składnik wartościowych pasz dla trzody chlewnej, drobiu i ryb (Buraczewska i in. 2010, Mazurkiewicz i in. 2007, Pastuszewska 1997, Urbaniak i in. 1995), zastępując wycofane z obrotu mączki pochodzenia zwierzęcego (Pastuszewska i Smulikowska 2001) oraz śrutę sojową, która pochodzi głównie z odmian genetycznie zmodyfikowanych (GMO). Jest to szczególnie ważne w związku z przyjęciem Ustawy o paszach (Dz. U. 2006 nr 144 poz. 1045), która wymaga znalezienia zastępczych wobec śruty sojowej, ale porównywalnych pod względem jakościowym i ekonomicznym, wysokobiałkowych składników pasz (Święcicki i in. 2007b).

Mimo, że śruta sojowa jest i w najbliżej przyszłości (przynajmniej do 1 stycznia 2017 r.) pozostanie najważniejszym i najlepszym źródłem białka dla trzody chlewnej i drobiu, to można ją zastąpić nawet w 50% białkiem innych gatunków strączkowych, bez pogarszania wyników produkcyjnych. Dodatek śruty łubinowej do paszy kur niosek korzystnie wpływa na jakość jaj (Prusiński 2009), a mie-

szanki treściwe z udziałem łubinu, bobiku i rzepaku mogą być z powodzeniem stosowane w żywieniu cieląt, bez ujemnego wpływu na ich produkcyjność (Strzetelski i in. 1996).

Łubin może być również wykorzystywany w celach spożywczych. W Chile i Peru, zgodnie z programami rządowymi, dodawany jest do podstawowych produktów żywnościowych celem zwiększenia ilości spożywanego białka (Lampart-Szczapa 1997). Mąka łubinowa stosowana do wypieku chleba podwyższa jego cechy organoleptyczne oraz spowalnia proces czerstwienia (Skibniewska i in. 2003). Dodatek 10% mąki łubinowej do ciasta makaronowego zwiększa jego plastyczność i płynność oraz pozytywnie wpływa na barwę i smak makaronu. W produktach zbożowo-mącznych, oprócz białka, wzrasta też zawartość substancji mineralnych w wyniku dodatku mąki łubinowej (Lampart-Szczapa i Obuchowski 1997). Korzystny wpływ na właściwości reologiczne ciasta i wartość odżywczą chleba stwierdzono także w wyniku dodania do ciasta pszennego okrywy nasiennej łubinu (Cierniewska i in. 1996).

Znane są ponadto właściwości prozdrowotne łubinu. Wyniki wielu badań klinicznych w ostatnich latach wykazały korzystny wpływ naturalnych związków fenolowych, których dobrym źródłem są nasiona roślin strączkowych, w zwalczaniu chorób cywilizacyjnych: cukrzycy, chorób serca oraz nowotworów (Lampart-Szczapa i in. 2003, 2007, Singt i Bhat 2003). Związki fenolowe zawarte w łubinach są naturalnymi roślinnymi przeciwutleniaczami oraz posiadają właściwości antybakteryjne (Bielecka i in. 1997). Białko łubinowe obniża poziom cholesterolu we krwi, co ma znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania układu krążenia. Nasiona łubinu zawierają też korzystne oligosacharydy, będące prebiotykami i błonnik pokarmowy. Wiele składników o właściwościach prozdrowotnych – nutraceutyków, cennych z żywieniowego i technologicznego punktu widzenia, decyduje o przydatności nasion łubinu jako składnika tzw. żywności funkcjonalnej. Należy jednak zaznaczyć, że łubin posiada oprócz pozytywnych, niekorzystne właściwości alergenne, wobec czego na opakowaniach produktów spożywczych powinna się znajdować informacja o jego obecności i potencjalnym zagrożeniu dla alergików (Lampart-Szczapa i Łoza 2007).

Dla osób, które nie są uczulone na białko łubinu, a nie tolerują białka mleka – laktozy, naukowcy z Fraunhofer Institute w niemieckim mieście Freising opracowali lody "Lupinesse", które zawierają cenne białka roślinne, a pozbawione są glutenu, cholesterolu i innych składników pochodzenia zwierzęcego. Według jednego z badaczy duża zawartość białka jest ważna dla kremowej konsystencji.

Ekstrakt z łubinu gorzkiego posiada właściwości insektycydowe, antybakteryjne i fungistatyczne, a jego zastosowanie obniża zawartość azotanów w warzywach. Może być również wykorzystywany do stymulacji wzrostu i rozwoju roślin oraz sporządzania kompostów (Prusiński 2000).

Począwszy od lat 70-tych XX wieku znaczenie roślin strączkowych (głównie grochu, łubinu, bobiku) ciągle malało. Było to spowodowane intensyfikacją i chemizacją rolnictwa oraz łatwością zakupu (głównie z Argentyny i Brazylii) taniej poekstrakcyjnej śruty sojowej (Stawiński 2007, Prusiński 2009, 2010). Jednak w ostatnich latach obserwowany jest ponowny wzrost zainteresowania uprawą roślin strączkowych, zarówno w Polsce (Podleśny 2005), jak i innych krajach Unii Europejskiej (Gawłowska i Święcicki 200, Pastuszewska i Święcicki 2003, Podleśny 2003, 2004, Święcicki i in. 2007a). Wynika on głównie z możliwości skorzystania z dodatkowych dopłat w ramach programów rolno-środowiskowych, a także z powodu coraz bardziej odczuwalnych, zwłaszcza na glebach lekkich, negatywnych skutków braku właściwego płodozmianu i tendencji w agrotechnice, zmierzających do propagowania rolnictwa ekologicznego i zrównoważonego (Stawiński 2007, Księżak 2000, 2001, Księżak i Borowiecki 2001). Zwłaszcza łubin żółty i seradela wydają się roślinami perspektywicznymi w rolnictwie proekologicznym (Harasimowicz-Hermann 1997).

Udział roślin strączkowych w strukturze zasiewów jest w Polsce ciągle mniejszy niż w wielu krajach Unii Europejskiej i chociaż zwiększył się w ostatnich latach, to wynosi mniej niż 2%, przy dominującym udziale zbóż. Łączna powierzchnia upraw strączkowych w Polsce według GUS wynosiła w 2009 roku nieco ponad 134 tys. ha. System dopłat do uprawy roślin motylkowatych, wprowadzony w 2010 roku, spowodował, że nastąpił wzrost areału uprawy tej grupy roślin. Spośród wszystkich gatunków roślin strączkowych łubin zajmuje największą powierzchnię, łącznie (na nasiona i zielonkę) w 2011 r. łubin uprawiany był na 62,3 tys. ha (*Wyniki produkcji roślinnej w 2011 r.*; LOO 2011).

Wobec tych wszystkich cennych właściwości, nie dziwi fakt niesłabnącego zainteresowania łubinem. Na świecie istnieje Międzynarodowe Towarzystwo Łubinowe – *International Lupin Association* (ILA), a w poszczególnych krajach towarzystwa lokalne, które skupiają badaczy i miłośników tej rośliny w wielu krajach obu Ameryk, Australii, Europy i południowej Afryki. W Polsce w 1992 r. powstało Polskie Towarzystwo Łubinowe (PTŁ), które propaguje badania, uprawę i wykorzystanie łubinu żółtego, wąskolistnego i białego. W kilkuletnich cyklach odbywają się międzynarodowe i krajowe konferencje i seminaria w celu popularyzacji łubinu i omówienia najnowszych osiągnięć w zakresie genetyki, hodowli, agrotechniki, uprawy, ochrony roślin, biochemii i fizjologii, żywienia zwierząt, wartości paszowej i wykorzystania nasion w diecie człowieka, znaczenia gospodarczego itp. Na konferencji ILA w Niemczech w 1999 r. łubin okrzyknięto rośliną następnego tysiąclecia (Prusiński 2000). Należy więc podejmować dalsze działania, aby rozpowszechnić wiedzę na temat poszczególnych gatunków łubinu, a w konsekwencji doprowadzić do wzrostu areału ich uprawy.

Na świecie w obrębie rodzaju *Lupinus* występuje ponad dwieście gatunków, z których część pochodzi z Ameryk, a dokładniej z południowo-zachodnich stanów USA, z Meksyku, państw Ameryki Środkowej, Brazylii, Chile, a druga część z okolic Morza Śródziemnego. Gatunki amerykańskie, z wyjątkiem łubinu andyjskiego (*Lupinus mutabilis* SWEET.), są przeważnie wieloletnie, drobnonasienne, np. dziko rosnący w Polsce, głównie w lasach, łubin trwały (*Lupinus polyphyllus* L.), natomiast europejskie – jednoroczne, grubonasienne. Ze względu na warunki klimatyczne i glebowe w Polsce uprawiane są trzy gatunki o znaczeniu rolniczym: łubin żółty (*Lupinus luteus* L.), łubin wąskolistny (*Lupinus angustifolius* L.) i łubin biały (*Lupinus albus* L.). Największe znaczenie gospodarcze oraz powierzchnię uprawy mają łubin żółty i łubin wąskolistny.

Łubin żółty w stanie naturalnym rośnie na Sycylii w rejonie Etny i na Peloponezie, występuje na kwaśnym podłożu skalnym. W średniowieczu był uprawiany jako roślina ozdobna, a większego znaczenia doczekał się pod koniec XIX wieku w Niemczech. W tym czasie w Wielkopolsce był użytkowany na zielony nawóz. Dopiero odkrycie niskoalkaloidowych form przez Sengbuscha w 1927 roku w Niemczech pozwoliło na dalsze udomawianie tego gatunku. W wyniku prac hodowlanych otrzymano odmianę o niepękających strąkach, a w latach 40-tych – mutanta o przyspieszonym rytmie wzrostu. W Polsce pierwszą niskoalkaloidową odmianę łubinu żółtego otrzymano już przed II wojną światową, po czym w latach 70-tych wprowadzono do uprawy pierwszą odmianę odporną na fuzariozę (Jasińska i Kotecki 1993, 2003).

Wysoka wartość gospodarcza łubinu żółtego wynika z najwyższej, spośród wszystkich roślin strączkowych uprawianych w Polsce, zawartości białka (42-44%) o bardzo korzystnym składzie aminokwasowym i małej zawartości substancji nieżywieniowych w nasionach form pastewnych oraz z powodu najniższych wymagań glebowych. Najlepiej udaje się na glebach kompleksu żytniego dobrego o pH 5-6, nie znosi natomiast gleb o odczynie obojętnym, zasadowym lub świeżo wapnowanych, gdyż choruje wtedy na chlorozę. Plony produkcyjne kształtują się na poziomie 1,1-1,8 $t \cdot ha^{-1}$ (Jasińska i Kotecki 1993, 2003). Prusiński (1997a) podaje, że łubin żółty plonuje istotnie wyżej, zwłaszcza w latach suchych, na kompleksie glebowym żytnim słabym niż na kompleksie żytnim bardzo dobrym. Plony uzyskiwane w warunkach produkcyjnych są znacznie niższe niż potencjalne, uzyskiwane w stacjach doświadczalnych. Według danych COBORU w latach 2008-2010 średni plon doświadczalny zarejestrowanych odmian łubinu żółtego wyniósł 1,7-2,1 $t \cdot ha^{-1}$, nasiona zawierały średnio 40,3-43,4% białka i 5,9-7,5% tłuszczu (LOO 2011).

Szczególne osiągnięcia w hodowli łubinu w Polsce w ciągu ostatnich lat to zastąpienie odmian podatnych na fuzaryjne więdnięcie – na odporne na początku lat 70-tych XX wieku, a następnie stworzenie form termoneutralnych w łubinie

wąskolistnym (pierwsze odmiany Mirela i Emir zarejestrowane w 1981 roku) i żółtym (Juno, 1989) oraz form samokończących (pierwsza odmiana łubinu żółtego – Manru zarejestrowana w 1990 r., a wąskolistnego – Bar w 1991, Wersal – 1995).

Po okresie załamania na początku XXI wieku, spowodowanego gwałtownym wystąpieniem antraknozy, zainteresowanie uprawą łubinu w Unii Europejskiej zaczyna wyraźnie wzrastać. Do największych producentów łubinu w UE należą Niemcy i Polska, a w pozostałych krajach europejskich – Białoruś i Rosja (Prusiński 2009, 2010).

Wysokość plonu nasion łubinu kształtują czynniki genetyczne (odmiana) i agrotechniczne: termin siewu, ilość wysiewu i rozstawa rzędów (Bieniaszewski 2001a), ale duże znaczenie, a często nawet decydujące, mają warunki pogodowe (temperatura, wilgotność, opady). Wczesny siew warunkuje uzyskanie obfitego plonu nasion o wysokiej wartości paszowej, gdyż pod wpływem niskiej temperatury zachodzi naturalna jarowizacja. Krótki okres chłodu w początkowym okresie ontogenezy łubinu – od siewu do wschodów, potrzebny jest do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin (Podleśny 2007, Podleśny i Strobel 2006). Pod wpływem jarowizacji przebiegającej w temperaturze kilku stopni powyżej zera, okres wegetacyjny łubinu może ulec skróceniu o 2-4 tygodnie (Barbacki 1972, Christiansen 1999). Ponadto rośliny wytwarzają więcej kwiatów i strąków, wcześniej dojrzewają, lepiej ukorzeniają się i wykorzystują wodę oraz w mniejszym stopniu ulegają porażeniu przez choroby (Jasińska i Kotecki 2003, Sadowski i in. 1996). Opóźnienie siewu powoduje nadmierny przyrost masy wegetatywnej kosztem organów generatywnych, co jest korzystne tylko w przypadku uprawy na zielonkę (Podleśny 2009; Podleśny i Strobel 2006). Jasińska i Kotecki (1993, 2003) podają, że wszystkie gatunki łubinu w uprawie na nasiona należy wysiewać możliwie wcześnie, w terminie siewu zbóż jarych, ale można nieco później niż bobik czy groch. W międzyplonach termin siewu wyznacza moment zbioru rośliny głównej. Zbyt wczesny siew również może być ryzykowny, ponieważ kiełkowanie trwa dłużej w niskiej temperaturze i nasiona mogą zostać porażone przez choroby grzybowe.

Wymagania termiczne łubinu są niewielkie. Łubin żółty kiełkuje w temperaturze 4-5°C i znosi krótkotrwałe przymrozki do –8°C (Jasińska i Kotecki 1993, 2003).

Obfite ulistnienie, a w związku z tym duża powierzchnia transpiracyjna sprawia, że łubin zużywa duże ilości wody. Optymalne roczne opady to 500-600 mm (jak na przeważającym obszarze nizinnym Polski), a w okresie wegetacyjnym 350-400 mm. Jednak dzięki silnie rozwiniętemu, palowemu systemowi korzeniowemu, łubin potrafi czerpać wodę z głębszych warstw gleby (Rojek 1986, 1989).

Pierwszym okresem większej wrażliwości łubinu na niedobór wody jest kiełkowanie, gdyż pęczniejące nasiona pobierają wtedy dużo wody, do 170% masy nasion (Jasińska i Kotecki 1993, 2003). Występująca w tym okresie susza glebo-

wa opóźnia i przedłuża wschody, powoduje znaczne braki w obsadzie roślin (Januszewicz 1997), ogranicza wzrost części nadziemnej i korzenia siewek (zwłaszcza hamuje przyrost masy korzeni bocznych, przez co zmniejsza masę całego systemu korzeniowego), przedłuża fazę zwartej rozety, wzmaga podatność roślin na choroby (Januszewicz 1993, Januszewicz i Suchowilska 2003a, Bieniaszewski 2001a,b, Kotecki 1990, Sadowski i in. 1997). Susza zakłóca symbiozę z bakteriami *Rhizobium*, opóźnia tworzenie się brodawek korzeniowych i ogranicza ich masę przeciętnie o 42% (Januszewicz i Suchowilska 2003a). Największe zapotrzebowanie na wodę przypada jednak na okres od tworzenia pąków, poprzez kwitnienie, do końca zawiązywania strąków. Niedobór wody w tym czasie skutkuje mniejszą ilością utworzonych strąków oraz zasychaniem i opadaniem kwiatów i owoców (Jasińska i Kotecki 1993, 2003, Januszewicz i Suchowilska 2003b). Optymalna wilgotność gleby dla łubinu żółtego to 55% pełnej pojemności wodnej (Jasińska i Kotecki 1993, 2003, Święcicki 1960). Według badań Bieniaszewskiego i in. (2003b) wzrost wilgotności gleby z 30 do 50 i 70% pojemności wodnej powoduje zmniejszenie zawartości składników mineralnych w nasionach łubinu żółtego. W warunkach niedoboru wody nasiona łubinu mogą gromadzić więcej alkaloidów. Natomiast większa wilgotność w czasie wykształcania i dojrzewania nasion sprzyja wyższej zawartości tłuszczu w nasionach (Jasińska i Kotecki 1993, 2003). Największe zapotrzebowanie na wodę ma łubin biały, mniejsze łubin wąskolistny, a najmniejsze łubin żółty, co jest odwrotnie proporcjonalne do długości systemu korzeniowego (Rojek 1989; Jasińska i Kotecki 1993, 2003). Według Dzieżyca i in. (1987a) potrzeby opadowe łubinu żółtego uprawianego na zieloną masę w okresie IV-VII na glebie lekkiej wynoszą 249 mm, od 36 mm w kwietniu do 88 mm w czerwcu, a na glebie średniej – 223 mm, odpowiednio od 33 do 81 mm. Dekadowe potrzeby wodne kształtują się w granicach od 15 do 31 mm, przy czym najmniejsze są w kwietniu i narastają do połowy drugiej dekady lipca. Największe potrzeby opadowe a zarazem największe niedobory wodne łubinu żółtego występują w okresie od 20 maja do 20 lipca w pasie Wielkich Dolin (Dzieżyc i in. 1987b, Rojek 1989).

Cechą charakterystyczną roślin strączkowych, także łubinu, zwłaszcza odmian rozgałęziających się, jest długi okres kwitnienia, szczególnie w warunkach niższej temperatury i wyższej wilgotności. Nadmiar opadów również szkodzi, gdyż przedłuża okres wegetacji, a długotrwałe, nierównomierne dojrzewanie utrudnia zbiór i jest szczególnie niepożądane przez rolnika (Rojek 1986, 1989). Zdarza się, że w latach wilgotnych na jednej roślinie występują dojrzałe strąki oraz kwiaty. Równomierność dojrzewania uzależniona jest od stopnia rozgałęzienia się roślin. Najbardziej nierównomiernie dojrzewa łubin żółty, gdyż najsilniej się rozgałęzia. W latach wilgotnych wegetacja może przedłużyć się nadmiernie, a wtórne zachwaszczenie utrudniać może przeprowadzenie zbioru, wobec czego konieczne

jest zastosowanie desykacji. Zbiór łubinu żółtego przypada zwykle na przełom sierpnia i września. Okres wegetacji, liczony od siewu do dojrzałości pełnej, trwa u łubinu żółtego 130-140 dni (Jasińska i Kotecki 2003).

Majchrzak (1998) podaje, że stopień porażenia siewek łubinu żółtego chorobami wywoływanymi przez różne gatunki grzybów zwiększał się wraz ze wzrostem temperatury, w jakiej przebiegało kiełkowanie. Wilgotność początkowa nasion natomiast nie wpływała wyraźnie na zdrowotność siewek, najsłabsze porażenie nastąpiło przy wilgotności 7-8%, a największe przy 11-12%. We wcześniejszych badaniach autorka (Majchrzak 1992) wykazała niekorzystny wpływ niskich oraz zmiennych temperatur o dużych amplitudach na zdrowotność siewek łubinu żółtego. W warunkach stresu chłodnego, przy zmiennych temperaturach (–3 i +15°C) obserwowano słabe wschody roślin oraz silne porażenie grzybami.

Wilgotność powietrza, szczególnie w okresie kwitnienia, ma wpływ na wystąpienie groźnej choroby łubinów – antraknozy, która pojawiła się w Polsce w 1995 r. na łubinie białym, rozprzestrzeniła w kolejnych latach także na łubin żółty i wąskolistny (Frencel i in. 1997a,b, 1998) i zaatakowała kulminacyjnie w 1999 roku (Jańczak i in. 2003). Początkowo uznawano, że antraknozę wywołuje grzyb *Colletorichum gleosporioides* (PENZ.) PENZ. et SACC. Kolejne badania wskazywały na *Colletorichum acutatum* SIMMONDS, a ostatecznie stwierdzono, że sprawcą choroby jest odrębny gatunek – *Colletorichum lupini* (BONDAR) NIRENBERG, FEILER ET HAGEDORN (Kurowski i Jaźwińska 2010). Źródłem infekcji pierwotnej są porażone nasiona, ale rozwojowi patogena i występowaniu choroby w późniejszych fazach rozwojowych roślin, zwłaszcza w fazie kwitnienia, sprzyjają dość równomierne opady, wysoka wilgotność względna powietrza (powyżej 80%) i temperatura otoczenia około 20°C (Frencel 2001, Filoda i in. 2001) lub nawet powyżej 15°C (Jańczak i in. 2003).

W wilgotnym sezonie wegetacyjnym 1999 roku antraknoza wystąpiła w bardzo dużym nasileniu we wszystkich rejonach uprawy łubinu, a na wielu plantacjach przybrała postać epidemii i była powodem zdyskwalifikowania około 33% plantacji nasiennych. W następnym roku, w wyniku stwierdzenia dużej podatności łubinu żółtego na antraknozę, zmniejszono powierzchnię zakwalifikowanych plantacji nasiennych tego gatunku o 71%, a wszystkich gatunków łubinu o 47%. Badania (Filoda i in. 2001) wykazały, że warunkami sprzyjającymi rozwojowi grzyba w okresie kwitnienia były równomierne opady w czerwcu i w I dekadzie lipca 1999 r. oraz wilgotność względna powietrza utrzymująca się powyżej 80%, przy czym temperatura, przy wysokiej wilgotności, niezbędnej do rozwoju zakażenia, okazała się czynnikiem drugorzędnym. Według Jańczak (2000) oraz Jańczak i in. (2003) rozwojowi antraknozy w 1999 sprzyjała wysoka wilgotność względna w maju i czerwcu, a najbardziej podatny na porażenie okazał się łubin żółty. Duża powierzchnia liści tego gatunku, na których długo utrzymuje się wo-

da, stanowi doskonałe siedlisko do infekcji i rozwoju choroby (Horoszkiewicz i Filoda 2001). Snarska i Szczygielski (2001) podają, że na porażenie łubinu antraknozą wpływa istotnie już jednorazowy wysoki opad przy jednoczesnym wystąpieniu wysokiej temperatury powietrza. W dniu poprzedzającym pojawienie się pierwszych objawów choroby w SDOO w Łyskach w 1998 r. zanotowano 15,3 mm opad i temperaturę 32,2°C, a w 1999 r. – 47 mm i 25,8°C. W takich warunkach następuje gwałtowny rozwój choroby i silne porażenie plantacji w ciągu kilku dni. Na porażenie antraknozą łubin jest szczególnie wrażliwy w okresie przed kwitnieniem i na początku kwitnienia (Snarska i Szczygielski 2001). Zaobserwowano także korelację między terminem siewu a stopniem porażenia roślin. Na plantacjach sianych później (druga połowa kwietnia) porażanie łubinu chorobą było silniejsze (Filoda i in. 2001). W latach 2000-2001 niższy poziom występowania antraknozy w skali kraju mógł być spowodowany niesprzyjającymi chorobie warunkami pogodowymi, a także, przynajmniej częściowo, stosowaniem środków grzybobójczych (Jańczak i in. 2003).

Przy wysokiej wilgotności względnej powietrza silnie rozwija się też szara pleśń wywołana grzybem *Botritis cinerea* PERS. (Jańczak i in. 2003), a w czasie wilgotnej i chłodnej pogody grzyby z rodzaju *Fusarium* wywołują zgorzel siewek. Natomiast w warunkach ciepłej i suchej pogody w czasie kwitnienia, szczególnie łubin wąskolistny atakuje inna groźna choroba – fuzaryjne więdnięcie spowodowane przez grzyb *Fusarium oxysporum* f. sp. *lupini* SNYD. et HANSEN (Jańczak i in. 2003, Horoszkiewicz i Filoda 2001). Zalewski i in. (2003) podają, że fuzariozie (*Fusarium* spp.) sprzyjają wyższe temperatury w okresie wiosennym, a nasilenie choroby następuje przy temperaturze 15,6-19,2°C i niewielkich opadach.

Choroby powodują wyraźną redukcję plonu nasion łubinu i pogorszenie jego jakości; w skrajnych przypadkach (1999 r.) może to być tylko porażony i zniekształcony poślad (Filoda i in. 2001, Horoszkiewicz i Filoda 2001).

Jeśli chodzi o badanie wpływu warunków pogodowych na rośliny strączkowe, to wymagania cieplne i wilgotnościowe szerzej opracowano dla bobiku (Michalska 1993), soi (Łykowski 1984) i grochu siewnego (Grabowska 2004), a z powyższego przeglądu piśmiennictwa wynika, że brak jest kompleksowych opracowań dotyczących wymagań pogodowych łubinu. Najczęściej warunki meteorologiczne uprawy tej rośliny przedstawiano przy okazji badań o charakterze agrotechnicznym (Bieniaszewski i in. 2000, Bieniaszewski 2001a,b, 2007a,b, Bieniaszewski, Fordoński 1994, Faligowska i Szukała, 2012, Christiansen i in. 1997, Gałęzewski 2006a,b, Januszewicz i Suchowilska 2003a,b, Kotecki i in. 2001, Kurasiak-Popowska i in. 2003, 2008, Podleśny i Podleśna 2008, 2010a,b, Podleśny i Strobel 2006, 2007, Podsiadło i Kaczmarczyk 2003, Prusiński i Borowska 1994, Prusiński 1997a,b,c, Strobel i Pszczółkowski 2007, Szukała 1994, 1997, Szwejkowski i Bieniaszewski 2001, Szwejkowski i in. 2002a,b). Nie ma natomiast badań dotyczących wpływu

klimatu i jego zmian na wzrost, rozwój i plonowanie łubinu. Poznanie tego oddziaływania jest niezwykle ważne w związku z koniecznością adaptacji polskiego rolnictwa do przewidywanych w przyszłości, nowych warunków pogodowych.

3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano wyniki ścisłych doświadczeń odmianowych COBORU, uzyskanych ze stacji w Głodowie, Marianowie, Sulejowie i Uhninie. Położenie miejscowości na tle województw Polski przedstawiono na rysunku 1. Dane źródłowe najczęściej obejmowały kilkanaście lat z przedziału 1991-2008 (tab. 1) i zawierały:

- coroczne plony odmian łubinu żółtego (Juno, Parys);
- terminy siewu, zbioru i daty wystąpienia podstawowych faz fenologicznych, na podstawie których wegetację łubinów podzielono na 4 okresy: siew-wschody, wschody-początek kwitnienia, początek kwitnienia-koniec kwitnienia, koniec kwitnienia-dojrzałość techniczna;
- informacje o warunkach glebowych i poziomie stosowanej agrotechniki (kompleks przydatności rolniczej gleb, klasa bonitacyjna, przedplon, pH gleby, nawożenie NPK);
- notowania dobowych wartości elementów meteorologicznych, tj. średniej, maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza oraz sum opadów atmosferycznych pochodzące z miejsc doświadczeń.

Rys. 1. Rozmieszczenie stacji doświadczalnych na tle województw Polski
Fig. 1. Location of the experimental stations in the Voivodeships (Provinces) of Poland

Tabela 1. Stacje doświadczalne i lata doświadczeń COBORU
Table 1. Research stations and years of COBORU experiments

Stacja doświadczalna Experimental station	Odmiana Variety	
	Juno	Parys
Głodowo (φ 52°50′N, λ 19°14′E)	1991-1998 2000-2008	1991-1998 2000-2008
Marianowo (φ 53°13′N, λ 22°06′E)	1997 1999-2008	1997 1999-2008
Sulejów (φ 51°21′N, λ 19°52′E)	1994-1998 2000-2008	1994-1998 2000-2008
Uhnin (φ 51°34′N, λ 23°02′E)	1991-1998 2000-2008	1991-1998 2000-2008

Ze względu na znaczenie promieniowania słonecznego w wegetacji roślin zdecydowano się na użycie tego czynnika w dalszych analizach, lecz z powodu braku notowań w stacjach doświadczalnych oszacowano jego dobowe wartości według wzoru Hunta i in. (1998):

$$SR = a_0 \cdot SR_0 \cdot \sqrt{T_{max} - T_{min}} + a_1 \cdot T_{max} + a_2 \cdot P + a_3 \cdot P^2 + a_4$$

gdzie:

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – współczynniki,

SR – suma promieniowania całkowitego (MJ·m^{-2}),

SR_0 – suma promieniowania całkowitego na granicy atmosfery (MJ·m^{-2}),

T_{max}, T_{min} – temperatura maksymalna i minimalna (°C),

P – suma opadów (mm).

Współczynniki równania oszacowano dla każdego miesiąca i każdej stacji osobno w okresie od marca do września na podstawie danych z lat 1998-2000, dla których zakupiono w IMGW dobowe wartości promieniowania całkowitego ze stacji meteorologicznych prowadzących pomiary aktynometryczne. Po oszacowaniu współczynników a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, równania wykorzystano do wyliczenia wartości SR w stacjach doświadczalnych.

Pomiary promieniowania słonecznego nie są powszechnie wykonywane we wszystkich stacjach ze względu na koszt, wymagania dotyczące obsługi i kalibra-

cji. Ponadto na stacjach, które mierzą te wartości, zdarzają się braki w danych spowodowane awarią sprzętu lub innymi problemami (Hunt i in. 1998). Dla potrzeb modelowania wzrostu, rozwoju i plonowania roślin uprawnych dobowe dane promieniowania całkowitego można przybliżać za pomocą różnych metod (Faber i in. 1996d, Meek 1997, Reddy 1987, Soltani i in. 2004). Często stosowane są metody szacowania promieniowania słonecznego za pomocą zależności empirycznych przy użyciu innych dostępnych obserwacji meteorologicznych. Mają one tę zaletę, że nie wymagają zbyt skomplikowanych, długotrwałych obliczeń i bazują na niewielkiej ilości danych wejściowych (Liu i in. 2009). Najbardziej znane są modele bazujące na pomiarach temperatury (Hargreaves 1981, Hargreaves i Samani 1982, Hargreaves i in. 1985, Bristow, Campbell 1984) oraz ich późniejsze modyfikacje (Abraha i Savage 2008, De Jong i Stewart 1993, Donatelli i Campbell 1998, Meza, Varas 2000, Weiss i in. 2001). Uzupełnianie brakujących pomiarów promieniowania słonecznego (Abraha i Savage 2008, Liu i in. 2009) jest też możliwe poprzez: interpolację liniową (Rivington i in 2006, Soltani i in. 2004), dane z satelitów geostacjonarnych (Pinker i in. 1995), stochastyczne modele pogody (Richardson i Wright 1984), sztuczne sieci neuronowe (Elizondo 1994, Reddy i Ranjan 2003, Tymvios i in. 2005, Lam i in. 2008). Metoda Hunta i in. (1998), którą zastosowano w niniejszym opracowaniu, jest modyfikacją metody Hargreaves (1981) uwzględniającą oprócz temperatury także opady atmosferyczne.

Do zbadania zależności pogoda-plon nasion łubinu (żółtego i wąskolistnego) wykorzystano pakiet STATISTICA. Zastosowano metodę korelacji i regresji wielokrotnej krokowej postępującej z użyciem funkcji liniowej i kwadratowej, a zbiór zmiennych niezależnych służących do budowy modeli regresji stanowiły:

- sumy promieniowania całkowitego (SR),
- sumy i średnie temperatury maksymalnej ($\sum T_{max}$, T_{max}),
- sumy i średnie temperatury minimalnej ($\sum T_{min}, T_{min}$),
- sumy i średnie temperatury średniej ($\sum T_{sr}$, T_{sr}),
- sumy opadów atmosferycznych (P),

wyliczone dla niżej wymienionych okresów rozwojowych łubinu:

1 – siew-wschody,

2 – wschody-początek kwitnienia,

3 – początek kwitnienia-koniec kwitnienia,

4 – koniec kwitnienia-dojrzałość techniczna.

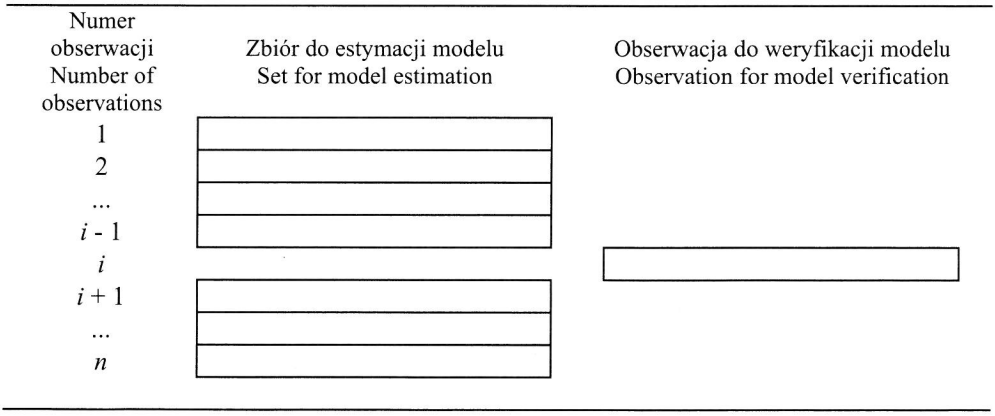
Jak podaje Górski (1996), powołując się na liczne doniesienia literatury, podział na naturalne okresy (fenologiczne) daje precyzyjniejszy obraz wymagań rośliny w ontogenezie niż podział kalendarzowy na miesiące lub dekady.

Analizy statystycznej zależności pogoda-plon dokonano w dwóch etapach: w pierwszym badano wpływ na plon łubinu podstawowych elementów meteorologicznych, tj. sum promieniowania całkowitego – SR, temperatury średniej po-

wierza – T_{sr} i sum opadów atmosferycznych – P. W drugim etapie – do zespołu wymienionych zmiennych (SR, T_{sr}, P) włączono także sumy temperatury średniej – $\sum T_{sr}$ oraz sumy i średnie temperatury maksymalnej – T_{max} i minimalnej – T_{min}.

Równań regresji poszukiwano najpierw dla okresu siew-wschody, a następnie dołączano zmienne z kolejnych faz rozwojowych, oddzielnie dla każdej odmiany łubinu i stacji. Dopasowanie modeli oceniono na podstawie współczynnika determinacji R^2, poprawionego współczynnika determinacji R^2_{adj}, błędu standardowego estymacji – *RMSE* (ang. *Root Mean Square Error*) oraz współczynnika determinacji R^2_{pred} wyznaczonego przy użyciu procedury *Cross Validation* (*CV*). Istotność równań określono za pomocą testu F-Snedecora.

Metoda *Cross Validation* (Michaelson 1987, Kuchar 1994, 2001) stosowana jest w celu uniknięcia przeparametryzowania modelu, czyli niepoprawnego opisu zależności, do którego może dojść zwłaszcza w przypadku małej liczby obserwacji w porównaniu do liczby estymowanych parametrów. Procedura polega na wielokrotnym podziale danych empirycznych na dwa podzbiory – pierwszy służy do estymacji parametrów modelu, a drugi do weryfikacji. Weryfikacja modelu następuje więc na materiale całkowicie niezależnym, bez pomniejszania zbioru obserwacji użytego do jego konstrukcji (GÓRSKI 1996). W szczególnym przypadku podział na podzbiory może być dokonany w taki sposób, że za każdym razem do estymacji wykorzystuje się n-1 elementów, a pozostały element służy do weryfikacji. Zgodnie z tą zasadą, każda obserwacja służy kolejno do weryfikacji. Ten wariant metody *Cross Validation* określany jest jako *Leave-One-Out* (LOO), a sposób postępowania przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Podział zbioru danych do estymacji i weryfikacji modelu w i-tym kroku według testu *Cross Validation* (Kuchar 2001)

Fig.2. Data separation for the purpose of estimation and verification of model by the *Cross Validation* test. Step No. *i*. (Kuchar 2001)

Współczynnik determinacji R^2:

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

po eliminacji *i*-tej obserwacji poprzez procedurę *Cross Validation* ma postać:

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

gdzie:
y_i – obserwacje empiryczne,
$\hat{y}_i$ – wielkości oszacowane za pomocą modelu,
$\hat{y}_{i,-i}$ – wielkości oszacowane za pomocą modelu z wykorzystaniem testu *Cross Validation* w wersji LOO (bez *i*-tej obserwacji),
$\bar{y}$ – wartość średnia z próby,
n – liczba obserwacji.

Procedura *Cross Validation* pozwala wyeliminować modele, które mogą dawać fałszywe prognozy. Po jej zastosowaniu wiele uzyskanych modeli zostaje zdyskwalifikowanych (Dragańska 2004, Dragańska i in. 2004, Dragańska i Szwejkowski 2004, Grabowska 2004).

Ostatecznie więc jako najważniejszą miarę dopasowania modelu przyjęto współczynnik determinacji R^2_{pred}. Aby model mógł być uznany za poprawnie zbudowany, o wysokiej zdolności predykcyjnej, po zastosowaniu procedury *CV* powinien być istotny według testu F-Snedecora, a wartość współczynnika R^2_{pred} zbliżona do wartości R^2. Jeśli współczynnik R^2_{pred} był bliski lub równy zeru, a utworzony model okazywał się nieistotny według testu F-Snedecora, następowała jego dyskwalifikacja.

Do prognozowania plonów łubinu żółtego wybrano po jednym modelu dla każdej z badanych odmian. Wykorzystano równania utworzone dla stacji Marianowo ze względu na wysoką wartość prognostyczną i usytuowanie tej stacji w województwie podlaskim, gdzie jest duży udział gleb słabych, predestynowanych do uprawy łubinu żółtego.

Warunki podwojenia zawartości CO_2 w atmosferze, spodziewane w latach 2050-2060, uzyskano poprzez wygenerowanie za pomocą modelu WGENK (Kuchar 2004, 2005, 2009b) danych meteorologicznych dla Marianowa w postaci 100-letnich ciągów dobowych wartości promieniowania całkowitego (*SR*), temperatury maksymalnej (T_{max}), minimalnej (T_{min}) oraz opadów (*P*). Wartości średniej

temperatury dobowej (T_{sr}), których model nie generuje, wyliczono jako średnią arytmetyczną z temperatury maksymalnej i minimalnej. Wartości te posłużyły następnie do wyliczenia zmiennych niezależnych wchodzących w skład wybranych do prognoz modeli regresji.

Generator WGENK, podobnie jak wcześniejsze generatory: WGEN (Kuchar 1998, 1999, Kuchar i in. 1998, Richardson 1985, Richardson i Wright 1984, Soltani i in. 2000) i WXGEN (Hayhoe 1998), wymaga zbiorczej informacji klimatycznej w postaci średnich miesięcznych wartości oraz odchyleń standardowych promieniowania całkowitego, temperatury maksymalnej i minimalnej (w przypadku promieniowania całkowitego i temperatury maksymalnej z rozróżnieniem na dni mokre i suche), miesięcznych sum opadów, liczby dni z opadem, wartości parametru α rozkładu gamma $\Gamma(\alpha,\beta)$ oraz prawdopodobieństwa $P(D/W)$ zaobserwowania dnia bez opadu, pod warunkiem, że poprzedni dzień był z opadem. WGENK składa się z dwóch bloków: wodnego i energetyczno-cieplnego. W bloku wodnym przy użyciu łańcuchów Markowa pierwszego rzędu określany jest stan dnia (z opadem/bez opadu) oraz generowane są wielkości opadów za pomocą dwuparametrycznego rozkładu gamma $\Gamma(\alpha,\beta)$. W bloku energetyczno-cieplnym, w zależności od stanu dnia, generowane są wartości promieniowania całkowitego, temperatury maksymalnej i minimalnej według uogólnionego modelu liniowego (Barczyk i in. 1999, Kuchar 1999, 2004, 2005, 2009b, Richardson 1985).

Tworzenie wartości SR, T_{max}, T_{min}, P, oddzielnie dla każdej stacji doświadczalnej i przyjętego scenariusza, rozpoczęto na dzień 1 marca. W pierwszym kroku wygenerowano dwie wartości z przedziału [0,1] według rozkładu jednostajnego, które zdeterminowały stan dnia. W przypadku określenia dnia z opadem, wygenerowana została jego wielkość z uwzględnieniem parametrów oszacowanych dla i-tego dnia roku, a następnie wygenerowane zostały wartości promieniowania całkowitego, temperatury maksymalnej i minimalnej. Po utworzeniu ciągu obserwacji dla 1 marca, ponownie wygenerowana została liczba z przedziału [0,1], określone prawdopodobieństwo dnia z opadem/bez opadu, pod warunkiem dnia poprzedniego i dalej powtarzana wcześniej opisana procedura. Proces został zakończony 30 września setnego roku (obserwowana wegetacja łubinów zaczynała się nie wcześniej niż 1 marca, a kończyła najpóźniej we wrześniu). Wartości aproksymowane dla każdego dnia w przyjętym okresie wykorzystywane były bezpośrednio do generowania (Kuchar 2005).

Wygenerowanie tej liczby ciągów układów pogodowych pozwoliło na prześledzenie ich różnorodności i ocenę, jakim wahaniom mogą ulec plony łubinu żółtego w nowych warunkach klimatycznych. W przyszłości w danej miejscowości zrealizuje się tylko jeden wariant, lecz nie wiadomo który, gdyż każdy jest jednakowo prawdopodobny.

Dane wygenerowano przy wykorzystaniu aktualnej charakterystyki klimatycznej, uzyskanej z danych źródłowych (tło dla zmian klimatycznych) oraz charakterystyki klimatycznej zmodyfikowanej o informacje pochodzące z trzech, powszechnie używanych scenariuszy zmian klimatu dla Europy Środkowej: GISS (model E), HadCM3 i GFDL, które zostały opracowane w wiodących ośrodkach badania klimatu: NASA Goddard Institute for Space Studies (USA), Hadley Centre for Climate Prediction and Research (W. Brytania) oraz Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA) wykonującego badania na rzecz misji NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Założenia poszczególnych scenariuszy (tab. 2), które przyjęto dla warunków podwojenia koncentracji CO_2 w atmosferze, mogą być modyfikowane w zależności od przyjętego okresu referencyjnego (Macdonald i Sertorio 1991, Mearns i in. 1997, Kuchar 2009a, Rosenzweig 1989).

Scenariusze są wykorzystywane do oszacowania przyszłych skutków zmian klimatu, ponieważ nie można dokładnie przewidzieć zmian klimatu regionalnego w wyniku wzrostu koncentracji gazów cieplarnianych (Smith i Pitts 1997). Scenariusze umożliwiają określenie wrażliwości i reakcji agroekosystemów, a także poszczególnych gatunków roślin uprawnych na zachodzące zmiany klimatyczne.

Tabela 2. Charakterystyka zmian klimatycznych w Europie Środkowej według scenariuszy GISS (Model E), HadCM3 i GFDL
Table 2. Characteristics of climate change in Central Europe according to GISS (Model E), adCM3 and GFDL scenarios

Zmienna Variable	Parametr Parameter	Okres Period	Zmiana według modelu Change according to model		
			GISS	HadCM3	GFDL
Temperatura Temperature	średnia mean	zima winter	+2,6°C	+3,4°C	+2,4°C
		lato summer	+1,8°C	+3,4°C	+2,0°C
	odchylenie standardowe standard deviation	rok year	+12%	+1,1°C	+10%
Opady Precipitations	średnia mean	zima winter	+15%	+10%	+20%
		lato summer	0%	–9%	–20%
	odchylenie standardowe standard deviation	rok year	+15%	+7%	+20%

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kuchar 2009a, MacDonald i Sertorio 1991, Mearns i in. 1997
Source: own elaboration based on data acc. to Kuchar 2009a, MacDonald and Sertorio 1991, Mearns *et al.* 1997

Następnie, dla każdego z wygenerowanych ciągów danych meteorologicznych wyznaczono terminy siewu oraz daty wystąpienia kolejnych faz fenologicznych, tj. wschodów, początku i końca kwitnienia oraz dojrzałości technicznej badanych odmian na podstawie historycznych danych doświadczalnych. Daty siewu wyznaczono, analizując średnie temperatury w ciągu dekady poprzedzającej termin siewu, jednak przede wszystkim sugerowano się średnią z siedmiu dni przed siewem. Wartości te najczęściej zawierały się w przedziale 5,0-7,0°C; dla Marianowa przyjęto średnią 6,5°C. W przypadku wątpliwości, analizowano również historyczne wartości ekstremalne temperatury (głównie temperatury minimalnej) oraz okresy bezopadowe, umożliwiające rozpoczęcie prac polowych. O przejściu rośliny do kolejnej fazy rozwojowej decydowało uzyskanie sumy temperatury średniej dobowej odpowiadającej uśrednionej sumie wyliczonej dla danego okresu w latach prowadzenia doświadczeń.

Następnie dla każdego wygenerowanego roku obliczono wartości zmiennych niezależnych występujących w równaniu regresji utworzonym dla danej odmiany. Na ich podstawie za pomocą modeli oszacowano wartości plonów w przyszłości (lata 2050-2060). Plony obserwowane i prognozowane porównano, przedstawiając ich parametry statystyczne oraz rozkłady Weibulla. Wyliczono także kwantyle rozkładów, wartości krytyczne oraz granice i prawdopodobieństwa tolerancji. Rysunki przedstawiające rozkłady Weibulla wykonano w programie STATGRAPHICS Centurion XV, natomiast różnice między średnimi zbadano testem rozsądnej różnicy (RIR) Tukeya dla nierównych liczności posługując się pakietem STATISTICA 10.

4. WARUNKI UPRAWY I AGROFENOLOGIA ŁUBINU ŻÓŁTEGO

4.1. Warunki prowadzenia doświadczeń COBORU

Do poprawnego zastosowania metod modelowania i prognozowania wymagana jest ogromna liczba danych meteorologicznych i empirycznych pochodzących z wieloletnich obserwacji. Ich pozyskanie sprawia zwykle poważne trudności. Przystępując do badań, dokonano wyboru stacji doświadczalnych, które posiadały możliwie długie i jednorodne serie danych pomiarowych. Długi okres badań prowadzonych w kontrolowanych warunkach według tej samej metodyki, to niewątpliwa zaleta doświadczeń odmianowych COBORU, a do ich wad można zaliczyć częste przenoszenie doświadczeń z jednej stacji do drugiej lub ich dyskwalifikację z powodu błędów metodycznych i agrotechnicznych lub nadmiernego porażenia roślin przez agrofagi. W przypadku łubinu żółtego napotkano trudności w uzyskaniu odpowiednich serii obserwacji. Doświadczenia tylko dwu od-

mian tego gatunku były prowadzone dostatecznie długo, by móc wykorzystać ich wyniki do analizy zależności pogoda-plon.

Poniżej zamieszczono ich charakterystykę:

- **Juno** – odmiana nasienno-zielonkowa, termoneutralna (mało wrażliwa na opóźnienie terminu siewu), niesamokończąca, bardzo wczesna, odporna na *Fusarium* sp., tolerancyjna na choroby wirusowe, równomiernie dojrzewająca, mało podatna na wyleganie, o kwiatach pomarańczowo-żółtych i niepękających strąkach. Wpisana do rejestru w 1989 r., wyhodowana w Poznańskiej Hodowli Roślin Sp. z o.o. w Tulcach.
- **Parys** – odmiana nasienno-zielonkowa, pastewna, nietermoneutralna, niesamokończąca, średnio wczesna, odporna na *Fusarium* sp. i wyleganie, silnie ulistniona i rozgałęziona, szybko rosnąca, o kwiatach pomarańczowych. Charakteryzuje się wysokim plonem nasion i zielonej masy. Wpisana do rejestru w 1988 r., wyhodowana w Hodowli Roślin Smolice Sp. z o.o. Grupa IHAR, Oddział Przebędowo.

Tabela 3. Warunki glebowe i przedplon doświadczeń z odmianami łubinu żółtego
Table 3. Soil conditions and forecrop in experiments with cultivars of yellow lupin

Stacje doświadczalne Experimental stations	pH	Klasa gleby Soil quality class	Kompleks rolniczej przydatności gleb Soil complex	Przedplon Forecrop
Głodowo	5,1-7,1	IVa, IIIb	4, 5	jęczmień jary, (pszenica jara, owies, mieszanka zbożowa) spring barley, (spring wheat, oat, cereal mix)
Marianowo	4,5-6,7	IVa, (IIIb, Vb, V)	4, 5	pszenica jara, jęczmień jary, pszenżyto ozime, (pszenica ozima, ziemniak) spring wheat, spring barley, winter triticale, (winter wheat, potato)
Sulejów	5,5-7,0	IIIb	5, 4, (2)	jęczmień jary, pszenica jara, żyto ozime spring barley, spring wheat, winter rye
Uhnin	6,0-6,6	IVa	4, 5, 6	jęczmień jary, owies, pszenica jara, (pszenica ozima, rzepak jary) spring barley, oat, spring wheat, (winter wheat, spring rape)

( ) – występowanie w jednym roku – occurrence in one year.

Genotypy termoneutralne charakteryzują się tym, że nie wymagają jaryzacji, rozwijają się szybciej, wcześniej dojrzewają nawet przy opóźnionych siewach, mają znacznie zredukowaną liczbę rozgałęzień.

Doświadczenia prowadzono zgodnie z ramową metodyką COBORU (*Metodyka...* 1983, 1998), najczęściej na glebach klasy IIIb i IVa kompleksu żytniego bardzo dobrego (4) i żytniego dobrego (5). Odczyn gleb wahał się w granicach pH od 4,5 do 7,1. Przedplonem łubinu były zboża, najczęściej jęczmień jary i pszenica jara, rzadko owies, pszenica ozima, pszenżyto i żyto ozime (tab. 3). Nawożenie mineralne stosowano w zależności od zawartości składników w glebie: azot – rzadko, przedsiewnie w ilości 8-31 $kg \cdot ha^{-1}$ w formie saletry amonowej, nawozy fosforowo-potasowe wysiewano jesienią w dawce: P – od 10 do 95 $kg \cdot ha^{-1}$, K – w dawce 10-160 $kg \cdot ha^{-1}$, w niektórych latach i stacjach dodatkowo stosowano nawożenie magnezem w dawce 12-50 $kg \cdot ha^{-1}$ w postaci MgO.

4.2. Agrofenologia wybranych odmian łubinu żółtego

Z materiałów COBORU wynika, że w badanych latach przebieg wegetacji łubinu żółtego był zróżnicowany w zależności od odmiany, miejscowości i roku. Różnice te w dużej mierze były spowodowane warunkami pogodowymi, ale też czynnikami glebowymi i agrotechnicznymi. Daty siewu oraz wystąpienia kolejnych faz fenologicznych zawiera tabela 4, a długości trwania kolejnych etapów rozwojowych – tabela 5.

W danym roku i stacji doświadczalnej wszystkie odmiany wysiewano w tym samym terminie. Znaczne różnice, sięgające od kilku do kilkunastu dni, wystąpiły natomiast między terminami siewu w kolejnych latach oraz między stacjami. Daty siewu w latach doświadczeń wahały się od 26 marca do 24 kwietnia, a uśrednione dla odmian w poszczególnych stacjach zawierały się w przedziale od 4 do 15 kwietnia. Wschody następowały przeciętnie po dwóch, trzech tygodniach od siewu, czyli w trzeciej dekadzie kwietnia. Okres od siewu do wschodów trwał od 19 dni w Marianowie do 23 dni w Sulejowie. Następny etap wegetacji łubinu, od wschodów do początku kwitnienia, był najdłuższy i trwał średnio od 46 dni (odmiana Juno w Sulejowie) do 55 dni (odmiana Parys w Marianowie). Kwitnienie łubinu żółtego średnio rozpoczynało się w drugiej lub trzeciej dekadzie czerwca, a kończyło między 29 czerwca (odmiana Juno w Sulejowie) a 14 lipca (Parys w Uhninie). Okres kwitnienia badanych odmian trwał średnio od 17 (odmiana Juno w Sulejowie) do 23 dni (Parys w Głodowie). Dojrzałość techniczną łubin żółty osiągał przeciętnie na przełomie lipca i sierpnia (27 VII-12 VIII). Najwcześniej osiągnięcie tej fazy zanotowano 17 lipca w stacji Sulejów (odmiana Juno), a najpóźniej 20 września w Głodowie (odmiana Parys). Długość okresu od końca kwitnienia do dojrzałości technicznej wahała się średnio od 23 (odmiana Parys w Uhninie) do 31 dni

Tabela 4. Terminy siewu i wystąpienia kolejnych faz fenologicznych odmian łubinu żółtego
Table 4. Sowing dates and consecutive phenological phases of yellow lupine cultivars

Stacje doświadczalne Experimental stations		Siewu - Sowing			Wschodów Germination			Początku kwitnienia Beginning of flowering			Końca kwitnienia End of flowering			Dojrzałości technicznej Complete maturity		
		średni mean	najwcześniejszy the earliest	najpóźniejszy the latest	średni mean	najwcześniejszy the earliest	najpóźniejszy the latest	średni mean	najwcześniejszy the earliest	najpóźniejszy the latest	średni mean	najwcześniejszy the earliest	najpóźniejszy the latest	średni mean	najwcześniejszy the earliest	najpóźniejszy the latest
Głodowo	J	**7 IV**	26 III	20 IV	**28 IV**	17 IV	4 V	**14 VI**	4 VI	29 VI	**7 VII**	20 VI	18 VII	**5 VIII**	19 VII	21 VIII
	P	**7 IV**	26 III	20 IV	**28 IV**	17 IV	5 V	**19 VI**	7 VI	3 VII	**12 VII**	24 VI	4 VIII	**12 VIII**	23 VII	20 IX
Marianowo	J	**10 IV**	2 IV	24 IV	**29 IV**	22 IV	7 V	**18 VI**	10 VI	26 VI	**6 VII**	28 VI	22 VII	**5 VIII**	27 VII	30 VIII
	P	**10 IV**	2 IV	24 IV	**29 IV**	22 IV	7 V	**23 VI**	14 VI	2 VII	**13 VII**	5 VII	25 VII	**12 VIII**	31 VII	6 IX
Sulejów	J	**4 IV**	26 III	17 IV	**27 IV**	18 IV	8 V	**12 VI**	3 VI	18 VI	**29 VI**	14 VI	11 VII	**27 VII**	17 VII	30 VIII
	P	**4 IV**	26 III	17 IV	**27 IV**	21 IV	8 V	**17 VI**	6 VI	3 VII	**5 VII**	23 VI	29 VII	**1 VIII**	20 VII	5 IX
Uhnin	J	**15 IV**	2 IV	23 IV	**2 V**	23 IV	9 V	**17 VI**	9 VI	24 VI	**5 VII**	22 VI	12 VII	**29 VII**	19 VII	11 VIII
	P	**15 IV**	2 IV	23 IV	**1 V**	23 IV	9 V	**24 VI**	11 VI	2 VII	**14 VII**	3 VII	5 VIII	**6 VIII**	25 VII	25 VIII

Objaśnienia – Explanations: J – Juno, P – Parys.

Tabela 5. Długość okresów rozwojowych odmian łubinu żółtego
Table 5. Length of developmental periods of yellow lupin cultivars

Stacje doświadczalne Experimental stations		Siew-wschody Sowing-germination			Wschody-początek kwitnienia Germination-beginning of flowering			Początek-koniec kwitnienia Beginning of flowering- end of flowering			Koniec kwitnienia-dojrzałość End of flowering-complete maturity			Okres wegetacyjny Vegetation season		
		średni mean	najdłuższy the longest	najkrótszy the shortest	średni mean	najdłuższy the longest	najkrótszy the shortest	średni mean	najdłuższy the longest	najkrótszy the shortest	średni mean	najdłuższy the longest	najkrótszy the shortest	średni mean	najdłuższy the longest	najkrótszy the shortest
Głodowo	J	21	30	11	47	57	38	22	35	14	30	45	17	121	140	102
	P	21	30	11	52	64	43	23	35	15	30	56	17	127	161	112
Marianowo	J	19	34	11	50	59	44	18	26	8	31	42	23	118	140	95
	P	19	34	11	55	63	47	20	28	10	31	44	22	125	147	102
Sulejów	J	23	35	13	46	54	39	17	27	9	29	54	18	115	136	100
	P	23	35	13	51	64	40	18	28	12	28	49	17	121	142	105
Uhnin	J	17	25	9	46	55	36	18	29	13	25	37	17	106	119	95
	P	17	24	9	53	65	39	21	34	11	23	34	15	114	127	99

Objaśnienia – Explanations: J – Juno, P – Parys.

(obie odmiany w Marianowie). Okres wegetacyjny (siew-dojrzałość techniczna) łubinu żółtego na badanym obszarze trwał średnio od 106 dni w Uhninie do 127 dni w Marianowie. Najdłużej (161 dni) utrzymywała się wegetacja odmiany Parys w Głodowie w 1993 roku, przyczyną było wydłużenie okresu od końca kwitnienia do zbioru (56 dni) w wyniku częstych opadów.

5. WYNIKI BADAŃ

5.1. Statystyczna charakterystyka plonowania

Współczesne odmiany łubinu są znacznie zróżnicowane zarówno pod względem morfologicznym, jak i użytkowym, co świadczy o ich odmiennej reakcji na warunki meteorologiczne, dlatego w pracy obie odmiany i zgromadzony materiał wyjściowy traktowano odrębnie.

W tabeli 6 przedstawiono parametry statystyczne plonów odmian w poszczególnych stacjach doświadczalnych COBORU, czyli średnie plony, maksymalne, minimalne oraz ich odchylenia standardowe i współczynniki zmienności.

W badanych latach i stacjach doświadczalnych średni plon obu odmian łubinu żółtego wyniósł 1,97 $t \cdot ha^{-1}$; zawierał się w przedziale od 1,49 w Uhninie (odm. Parys) do 2,41 $t \cdot ha^{-1}$ w Głodowie (odm. Juno). Odmiana Juno generalnie plonowała wyżej niż Parys, średnio o 0,14 $t \cdot ha^{-1}$ (Juno 2,04; Parys 1,90 $t \cdot ha^{-1}$). W Sulejowie średni plon odmian Juno i Parys był jednakowy i wyniósł 1,79 $t \cdot ha^{-1}$. Obie odmiany najlepiej plonowały w Głodowie (Juno 2,41; Parys 2,30 $t \cdot ha^{-1}$), a najsłabiej w Uhninie (Juno 1,75; Parys 1,49 $t \cdot ha^{-1}$).

Rozpiętość plonów była stosunkowo duża, najwyższe plony sięgały do 4,16 $t \cdot ha^{-1}$ (odmiana Juno w Głodowie w 2004 r.), ale w poszczególnych latach, zwłaszcza z niekorzystną sumą i rozkładem elementów meteorologicznych w czasie wegetacji, badane odmiany plonowały słabiej, nawet poniżej 1,00 $t \cdot ha^{-1}$.

Analiza plonowania odmian łubinu potwierdza opinię, że w sprzyjających warunkach i przy optymalnej agrotechnice, a taką zapewniają stacje doświadczalne oceny odmian w COBORU, można w Polsce uzyskać plony dużo wyższe od plonów otrzymywanych w warunkach produkcyjnych.

Przyczyn wahań plonowania odmian w stacjach doświadczalnych w kolejnych latach, a także w jednym roku, lecz w różnych miejscowościach, należy upatrywać głównie w zróżnicowanych warunkach pogodowych, które często sprzyjały nasileniu chorób i szkodników, a także w poziomie stosowanej agrotechniki (niewłaściwy dobór gleby, opóźnienie terminu siewu, nieprawidłowa pielęgnacja uprawy i in.).

Tabela 6. Statystyczna charakterystyka plonów odmian łubinu żółtego w t·ha^{-1}
Table 6. Statistical characteristics of yield of yellow lupin cultivars in t ha^{-1}

Odmiana Cultivar	Statystyki Statistics	Głodowo	Marianowo	Sulejów	Uhnin
Juno	$\bar{y}$	**2,41**	**2,20**	**1,79**	**1,75**
	max	4,16	3,57	2,57	3,18
	min	1,19	1,00	0,73	0,61
	s	0,84	0,82	0,60	0,59
	V	35,09	37,35	33,42	33,52
Parys	$\bar{y}$	**2,30**	**2,03**	**1,79**	**1,49**
	max	4,06	3,15	2,58	2,41
	min	1,11	0,99	0,80	0,13
	s	0,82	0,73	0,50	0,52
	V	35,53	35,85	28,06	34,70

Objaśnienia: $\bar{y}$ – średni – mean.
Explanations: *max* – maksymalny – maximal,
min – minimalny – minimal,
s – odchylenie standardowe – standard deviation,
V – współczynnik zmienności (%) – coefficient of variation.

5.2. Statystyczna charakterystyka warunków meteorologicznych

Zmienność wymagań w ontogenezie rośliny analizowano, dzieląc okres wegetacji na podokresy fenologiczne, charakteryzujące się specyficznymi warunkami pogodowymi (Górski 1996, Kuchar 1993). Ich długości były zróżnicowane w zależności od odmiany, lokalizacji stacji i warunków pogodowych w danym roku (tab. 5). W tabelach 7-8 przedstawiono charakterystykę statystyczną wybranych elementów meteorologicznych, tj. sum promieniowania całkowitego, sum i średnich dobowej temperatury powietrza oraz sum opadów atmosferycznych w wydzielonych okresach rozwojowych badanych odmian łubinu żółtego. Wyliczone parametry meteorologiczne stanowiły tło wegetacji rośliny w poszczególnych stacjach doświadczalnych.

W pierwszym okresie wegetacji odmian łubinu żółtego, od siewu do wschodów, średnie wartości wszystkich omawianych czynników były najniższe. Promieniowanie słoneczne, uwzględniając wszystkie stacje i obie odmiany, zawierało się średnio w przedziale od 260,9 (Parys w Uhninie) do 327,2 MJ·m^{-2} (Parys w Sulejowie). Sumy temperatury średniej dobowej w tym okresie u obu odmian najniższe były w Marianowie, a najwyższe w Sulejowie i wyniosły odpowiednio: Juno – od 157,8 do 183,2°C, Parys – od 162,3 do 186,1°C. Przeciętne wartości temperatury

Tabela 7. Statystyka opisowa wybranych zmiennych niezależnych – odmiana Juno
Table 7. Descriptive statistics of selected independent variables – Juno cultivar

Odmiana Cultivar	Statystyki Statistics	*SR*1	$\sum T_{sr}1$	$T_{sr}1$	*P*1	*SR*2	$\sum T_{sr}2$	$T_{sr}2$	*P*2	*SR*3	$\sum T_{sr}3$	$T_{sr}3$	*P*3	*SR*4	$\sum T_{sr}4$	$T_{sr}4$	*P*4
Głodowo	$\bar{x}$	283,6	168,2	8,4	24,5	916,0	670,1	14,2	72,1	417,7	375,8	17,4	45,5	559,7	573,0	19,1	73,4
	max	360,2	212,3	12,4	56,8	1078,2	742,2	16,6	125,7	583,4	528,9	20,5	132,9	734,7	773,6	22,9	148,9
	min	188,7	108,4	4,9	0,0	790,2	579,9	12,0	27,4	280,7	261,9	14,6	5,6	410,5	387,1	16,8	8,6
	s	53,8	31,8	1,6	17,0	80,7	39,2	1,4	29,1	79,4	66,6	1,7	34,5	90,8	105,7	1,7	36,3
	V	19,0	18,9	19,2	69,4	8,8	5,8	9,7	40,3	19,0	17,7	9,8	75,8	16,2	18,5	9,1	49,5
Marianowo	$\bar{x}$	281,6	157,8	8,8	19,2	996,0	704,5	14,3	80,5	361,0	322,2	17,8	45,2	579,6	598,0	19,4	68,7
	max	488,7	208,3	12,4	76,0	1084,8	753,3	16,1	144,0	463,2	417,6	19,7	71,5	749,3	732,3	22,1	143,5
	min	192,5	98,3	5,7	0,5	866,7	638,1	12,8	48,1	166,5	157,3	16,1	9,0	411,4	453,9	16,3	10,9
	s	85,8	30,8	2,1	25,1	83,4	38,3	1,1	32,8	82,2	64,2	1,1	23,8	105,2	89,0	1,7	36,8
	V	30,5	19,5	23,3	130,7	8,4	5,4	7,8	40,7	22,8	19,9	6,1	52,6	18,2	14,9	8,8	53,6
Sulejów	$\bar{x}$	321,3	183,2	8,5	33,3	854,9	656,3	14,2	84,7	319,5	299,1	17,5	48,7	531,1	526,4	18,6	78,4
	max	502,0	251,8	12,6	115,2	966,3	730,7	16,2	171,5	478,8	417,0	20,7	156,5	847,0	900,8	22,6	177,4
	min	233,2	157,7	6,3	5,7	664,9	570,2	12,5	41,3	167,1	169,0	15,3	0,8	417,1	387,9	16,0	3,8
	s	73,3	27,5	2,0	32,1	86,7	38,3	1,2	36,6	94,1	76,1	1,6	43,3	116,0	139,3	1,7	58,7
	V	22,8	15,0	23,4	96,3	10,1	5,8	8,3	43,2	29,5	25,4	8,9	88,8	21,8	26,5	9,4	74,9
Uhnin	$\bar{x}$	263,8	165,3	10,4	20,2	852,3	688,4	15,1	87,9	343,2	325,1	18,0	31,7	460,6	481,7	19,5	74,3
	max	371,2	218,9	14,3	53,3	1006,8	747,5	17,4	168,3	483,9	437,4	21,2	73,7	576,1	662,0	23,1	228,6
	min	147,5	115,2	5,6	2,6	607,1	625,3	12,8	37,4	260,6	226,5	15,1	1,1	351,9	383,3	14,7	5,3
	s	64,1	28,7	2,6	17,0	100,0	36,6	1,3	34,9	50,6	50,7	1,7	22,4	64,2	66,6	2,3	52,3
	V	24,3	17,4	24,9	83,9	11,7	5,3	8,3	39,7	14,7	15,6	9,3	70,9	13,9	13,8	11,7	70,3

Objaśnienia max, min, s, V jak w tabeli 6 – explanations max, min, s, V as in Table 6:
$\bar{x}$ – średnia – mean value,
1-4 – okresy rozwojowe – development periods,
SR – promieniowanie całkowite – global radiation ($MJ \cdot m^{-2}$),
T_{sr} – temperatura średnia – mean temperature (°C),
P – opad atmosferyczny – precipitation (mm).

Tabela 8. Statystyka opisowa wybranych zmiennych niezależnych – odmiana Parys
Table 8. Descriptive statistics of selected independent variables – Parys cultivar

Odmiana Cultivar	Statystyki Statistics	*SR*1	$\sum T_{sr}1$	$T_{sr}1$	*P*1	*SR*2	$\sum T_{sr}2$	$T_{sr}2$	*P*2	*SR*3	$\sum T_{sr}3$	$T_{sr}3$	*P*3	*SR*4	$\sum T_{sr}4$	$T_{sr}4$	*P*4
Głodowo	$\bar{x}$	286,3	170,6	8,4	23,9	997,3	743,1	14,3	83,9	442,6	406,7	17,9	47,3	569,5	593,9	19,2	80,1
	max	354,3	215,9	12,4	56,8	1250,7	991,1	16,2	144,2	548,2	565,6	20,9	95,4	846,3	950,2	24,9	177,6
	min	198,6	122,7	4,9	0,0	834,1	636,2	12,0	27,4	309,0	288,8	15,3	1,9	342,6	384,4	14,6	24,6
	s	50,2	28,4	1,7	17,1	120,2	98,5	1,2	33,6	71,9	72,1	1,7	28,4	132,6	139,8	2,2	44,0
	V	17,5	16,6	19,7	71,4	12,1	13,3	8,5	40,0	16,2	17,7	9,6	60,1	23,3	23,5	11,6	55,0
Marianowo	$\bar{x}$	289,2	162,3	8,9	19,4	1094,7	790,7	14,5	93,5	380,8	360,9	18,2	52,0	563,4	589,9	19,5	64,4
	max	488,7	227,7	12,4	77,9	1417,4	995,7	16,0	161,8	516,6	441,5	23,3	103,1	722,3	775,9	22,9	138,2
	min	192,5	106,3	5,7	0,5	912,3	655,8	13,0	53,1	263,3	232,5	15,4	0,0	458,9	473,9	17,4	5,4
	s	83,3	32,7	2,0	25,5	131,7	90,7	1,1	36,2	84,0	74,0	2,0	31,0	95,7	100,2	1,7	41,1
	V	28,8	20,1	22,9	131,7	12,0	11,5	7,7	38,7	22,1	20,5	10,9	59,5	17,0	17,0	8,7	63,9
Sulejów	$\bar{x}$	327,2	186,1	8,5	33,4	935,9	732,6	14,4	96,4	338,9	318,9	17,7	53,5	509,2	524,6	18,9	80,2
	max	502,0	221,6	12,6	115,2	1193,7	980,2	16,5	174,5	455,5	447,4	20,9	156,5	725,5	793,4	22,9	228,3
	min	238,8	157,7	6,3	6,4	664,9	570,2	12,7	42,3	223,6	224,6	15,5	0,0	367,8	329,6	16,2	3,8
	s	74,9	20,5	1,9	32,0	133,2	100,5	1,2	39,6	71,3	82,2	1,6	51,6	78,9	116,3	1,6	65,0
	V	22,9	11,0	22,5	95,6	14,2	13,7	8,1	41,1	21,0	25,8	9,0	96,4	15,5	22,2	8,6	81,1
Uhnin	$\bar{x}$	260,9	164,9	10,4	20,7	984,5	810,3	15,3	102,5	387,7	373,8	18,3	47,9	416,9	461,4	20,1	59,3
	max	387,6	197,6	14,3	53,3	1314,9	1007,4	17,8	169,3	591,0	572,9	21,6	173,8	551,0	597,1	24,3	121,9
	min	147,5	124,8	5,3	2,6	676,6	695,9	13,0	57,0	232,8	237,6	13,9	0,0	235,0	271,0	17,3	2,3
	s	63,4	25,8	2,6	16,7	155,5	94,1	1,2	31,1	75,0	89,2	2,0	44,5	72,7	79,6	2,0	33,9
	V	24,3	15,6	24,9	80,3	15,8	11,6	7,8	30,4	19,3	23,9	11,0	92,9	17,4	17,3	9,9	57,1

Objaśnienia jak w tabeli 6 i 7 – Explanations as in Table 6 and 7.

średniej dobowej wahały się od 8,4°C w Głodowie do 10,4°C w Uhninie. Najniższe średnie sumy opadów w czasie od siewu do wschodów u obu odmian odnotowano w Marianowie –19,2 (Juno) i 19,4 mm (Parys), natomiast najwyższe – w Sulejowie, średnio 33,3 mm (Juno) i 33,4 mm (Parys).

W drugim, najdłuższym okresie międzyfazowym, od wschodów do początku kwitnienia, średnie sumy promieniowania całkowitego wahały się od 852,3 (Juno w Uhninie) do 1094,7 MJ·m^{-2} (Parys w Marianowie). Sumy temperatury średniej przyjmowały wartości: Juno – w granicach od 656,3 do 704,5°C, Parys – od 732,6 do 810,3°C. Temperatura średnia najniższa była w przypadku odmiany Juno w Głodowie i Sulejowie – 14,2°C, a najwyższa w Uhninie – 15,1 (Juno) i 15,3°C (Parys). Sumy opadów w tym okresie wegetacji wyniosły dla odmiany Juno 72,1-87,9 mm, a dla odmiany Parys – od 83,9 mm w Głodowie do 102,5 mm w Uhninie. Wielkość opadów od wschodów do początku kwitnienia układała się analogicznie do długości tego okresu u poszczególnych odmian, który krótszy był u odmiany Juno (tab. 5).

W okresie kwitnienia średnie sumy promieniowania całkowitego wahały się od 319,5 (odmiana Juno w Sulejowie) do 442,6 MJ·m^{-2} (Parys w Głodowie). Sumy temperatury średniej od początku do końca kwitnienia wyniosły: Juno – od 229,1 do 375,8°C, Parys – od 318,9 do 406,7°C, a jej średnie wartości wahały się od 17,4°C (Juno w Głodowie) do 18,3°C (Parys w Uhninie), natomiast sumy opadów kształtowały się w granicach 31,7 (Juno w Uhninie) – 53,5 mm (Parys w Sulejowie).

W międzyfazie od końca kwitnienia do dojrzałości technicznej średnie sumy promieniowania słonecznego badanych odmian zawierały się w przedziale 460,6 (Juno w Uhninie) – 579,6 MJ·m^{-2} (Juno w Marianowie). Sumy temperatury średniej wyniosły: Juno – od 481,7 do 598,0°C, Parys – od 461,4 do 593,9°C, a średnie jej wartości były w tym okresie rozwoju najwyższe, osiągnęły wartości od 18,6 (Juno w Sulejowie) do 20,1°C (Parys w Uhninie). Sumy opadów przeciętnie najniższe były w przypadku odmiany Parys w Uhninie – 59,3 mm, a najwyższe także u odmiany Parys; w Sulejowie wyniosły 80,2 mm.

Średnie wartości wybranych czynników meteorologicznych (*SR*, T_{sr}, *P*) w całym okresie wegetacji poszczególnych odmian kształtowały się następująco:

- Juno – 1919,9-2218,2 MJ·m^{-2}, 14,7-15,8°C, 213,6-245,1 mm;
- Parys – 2050,0-2328,1 MJ·m^{-2}, 14,9-16,0°C, 229,3-263,5 mm;

Sumy temperatury średniej zgromadzone przez cały okres wegetacji zawierały się w przedziałach (°C):

- Juno – 1660,5 (Uhnin) – 1787,1 (Głodowo),
- Parys – 1762,2 (Sulejów) – 1914,3 (Głodowo).

Z danych liczbowych zawartych w tabelach 7-8 wynika, że uwzględnione w opracowaniu lata były wyraźnie zróżnicowane pod względem przebiegu pogody w okresach wegetacji badanych gatunków łubinu. Przebieg warunków pogo-

dowych w poszczególnych latach i międzyfazach często odbiegał od optymalnych, niekorzystnie kształtowały się zwłaszcza opady ekstremalne: opady maksymalne przekraczały średnie dwu- a nawet trzykrotnie, a minimalne często przyjmowały wartości równe zeru. Ta zmienność elementów meteorologicznych była przyczyną znacznych wahań wysokości plonów łubinu żółtego.

5.3. Korelacje między plonem łubinu a zmiennymi niezależnymi

Tabela 9 przedstawia istotne korelacje między plonem odmian łubinu żółtego a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych. Szczegółowe tabele, ze wszystkimi współczynnikami korelacji, zamieszczono w załączniku (tab. Z-1 – Z-8).

Tabela 9. Istotne korelacje między plonem łubinu a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych
Table 9. Significant correlations between the yield of lupin and independent variables in subsequent periods of development

1	2	3	4
SR	+JU	+JU	
SR^2	+JU	+JU	
$\sum T_{max}$	+JU	+JU	
$(\sum T_{max})^2$	+JU	+JU	
T_{max}		–JG, –JS, –PG, –PS	
T_{max}^2		–JG, –JS, –PG, –PS	
$\sum T_{min}$	+JG	+JG, +JU	
$(\sum T_{min})^2$		+JG, +JU	
T_{min}			+PS
T_{min}^2			+PS
$\sum T_{sr}$		+JU	
$(\sum T_{sr})^2$		+JU	
T_{sr}		–JG, –JU	
T_{sr}^2		–JG, –JU	
P	–JM, –JU, –PM		
P^2	–JM, –JU, –PM	–PU	

Objaśnienia – Explanations: J, P – Juno, Parys; G, M, S, U – Głodowo, Marianowo, Sulejów, Uhnin
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.

Spośród wszystkich zmiennych największe znaczenie w kształtowaniu plonu łubinu żółtego odgrywała średnia temperatura maksymalna okresu kwitnienia – $T_{max}3$ (w postaci liniowej i kwadratowej). Jej ujemny wpływ na plon stwierdzono w przypadku obu odmian w Głodowie i Sulejowie:

- Juno w Głodowie ($T_{max}3$ $r = -0,76$; $T_{max}3^2$ $r = -0,76$),
- Juno w Sulejowie ($T_{max}3$ $r = -0,59$; $T_{max}3^2$ $r = -0,58$),
- Parys w Głodowie ($T_{max}3$ $r = -0,53$; $T_{max}3^2$ $r = -0,53$),
- Parys w Sulejowie ($T_{max}3$ $r = -0,65$; $T_{max}3^2$ $r = -0,66$),

Średnia temperatura okresu kwitnienia istotnie ujemnie korelowała z plonem odmiany:

- Juno w Głodowie ($T_{sr}3$ $r = -0,66$; $T_{sr}3^2$ $r = -0,65$)
- Juno w Uhninie ($T_{sr}3$ $r = -0,56$; $T_{sr}3^2$ $r = -0,55$).

Plon łubinu żółtego był ponadto skorelowany ujemnie z sumą opadów w okresie:
– od wschodów do początku kwitnienia:

- Juno w Marianowie ($P2$ $r = -0,83$; $P2^2$ $r = -0,80$),
- Juno w Uhninie ($P2$ $r = -0,57$; $P2^2$ $r = -0,49$),
- Parys w Marianowie ($P2$ $r = -0,83$; $P2^2$ $r = -0,81$).

– i kwitnienia:

- Parys w Uhninie ($P3^2$ $r = -0,63$).

Istotnych korelacji dodatnich było mniej. Z plonem odmiany Juno skorelowana była suma temperatury minimalnej w okresie kwitnienia:

- Juno w Głodowie ($\sum T_{min}3$ $r = 0,51$; $(\sum T_{min}3)^2$ $r = 0,53$),
- Juno w Uhninie ($\sum T_{min}3$ $r = 0,58$; $(\sum T_{min}3)^2$ $r = 0,59$).

Pozostałe istotne korelacje dodanie miały charakter jednostkowy, zaobserwowano je między plonem odmiany:

- Juno w Głodowie a sumą temperatury minimalnej w okresie wschody-początek kwitnienia ($\sum T_{min}2$ $r = 0,49$),
- Juno w Uhninie a sumą promieniowania całkowitego i sumą temperatury maksymalnej w drugiej i trzeciej fenofazie ($SR2$ $r = 0,50$; $SR2^2$ $r = 0,52$; $\sum T_{max}2$ $r = 0,53$; $(\sum T_{max}2)^2$ $r = 0,54$; $SR3$ $r = 0,61$; $SR3^2$ $r = 0,62$; $\sum T_{max}3$ $r = 0,69$; $(\sum T_{max}3)^2$ $r = 0,70$) oraz sumą średniej temperatury dobowej w trzecim okresie rozwojowym ($\sum T_{sr}3$ $r = 0,54$; $(\sum T_{sr}3)^2$ $r = 0,57$),
- Parys w Sulejowie a średnią temperaturą minimalną w okresie koniec kwitnienia-dojrzałość techniczna ($T_{min}4$ $r = 0,57$; $T_{min}4^2$ $r = 0,56$),

W sumie stwierdzono 19 istotnych korelacji ujemnych i 17 dodatnich. W równaniach regresji zmienne pogodowe mogą jednak zachowywać się inaczej – te, które nie wykazywały istotnych korelacji z plonem, mogą stać się istotne wespół z innymi zmiennymi, a inne mimo istotnych korelacji, mogą ostatecznie w ogóle nie wejść do modelu lub model je zawierający może zostać zdyskwalifikowany (np. w Sulejowie).

5.4. Modele pogoda-plon w kolejnych okresach rozwojowych łubinu

Zależności plonowania wybranych odmian łubinu od czynników meteorologicznych wyliczonych dla poszczególnych okresów fenologicznych i stacji zbadano w dwóch etapach. Najpierw określono wpływ na plon podstawowych elementów meteorologicznych, czyli promieniowania całkowitego (*SR*), średniej temperatury dobowej (T_{sr}) i opadów atmosferycznych (*P*), a następnie do zespołu wymienionych zmiennych objaśniających włączono także sumy temperatury średniej dobowej oraz wartości ekstremalne temperatury (temperaturę maksymalną – T_{max} i minimalną – T_{min}) w postaci wartości średnich oraz sum. Za pomocą regresji krokowej postępującej, dla każdej międzyfazy łubinu utworzono wiele modeli, których dopasowanie wzrastało wraz z zaawansowaniem wegetacji, gdyż pojawiało się więcej czynników mających wpływ na plon.

W tabelach 10-13 zawarto zmienne meteorologiczne wchodzące w skład równań regresji (określające zależności między plonem odmian łubinu a zmiennymi meteorologicznymi), współczynniki determinacji (R^2, R^2_{adj}, R^2_{pred}), błędy standardowe (*RMSE*) oraz wyselekcjonowane (po zastosowaniu procedury *Cross Validation*) modele pogoda-plon. W opisie skupiono się na modelach zawierających zmienne istotne na poziomie co najmniej 0,05, a przede wszystkim na tych, które pozytywnie przeszły procedurę *Cross Validation*.

W przypadku odmiany Juno (tab. 10-11) wyselekcjonowano równania o wysokiej wartości prognostycznej dla Głodowa, Marianowa i Uhnina. W Sulejowie natomiast, po zastosowaniu procedury *Cross Validation,* wszystkie utworzone równania okazały się nieistotne.

W Głodowie, gdy brano pod uwagę podstawowy zestaw zmiennych (tab. 10), do początku kwitnienia nie udało się zbudować żadnego równania. Po dodaniu czynników meteorologicznych okresu kwitnienia, wyselekcjonowano tylko jedno równanie, które pozytywnie przeszło procedurę *Cross Validation*. Znalazła się w nim tylko średnia temperatura okresu kwitnienia – $T_{sr}3$, oddziałująca ujemnie na plon. Współczynniki determinacji tego równania przyjęły wartości: R^2 – 0,43, R^2_{adj} – 0,39, a R^2_{pred} – 0,30. Po dodaniu kolejnych czynników, także z ostatniego okresu rozwojowego – od końca kwitnienia do dojrzałości technicznej – uzyskano wysokie współczynniki determinacji (R^2), lecz statystyka R^2_{pred} decydująca o przydatności modelu zdyskwalifikowała pozostałe równania.

Gdy analizowano wpływ na plon zmiennych objaśniających zestawu z wartościami ekstremalnymi temperatury włącznie (tab. 11), to dla pierwszego okresu rozwojowego również nie udało się utworzyć żadnego równania. Natomiast po dołączeniu zmiennych z okresu wschody-początek kwitnienia utworzono jedno równanie, w którym ze znakiem dodatnim znalazła się suma temperatury minimalnej ($\sum T_{min}2$), ale z powodu niskiej wartości współczynnika determinacji R^2_{pred} zostało ono zdyskwalifikowane. W przypadku zespołu zmiennych z okresów 1-3 oraz 1-4 w modelach znalazły się: temperatura maksymalna okresu kwitnienia

($T_{max}3$), suma promieniowania całkowitego okresu od wschodów do początku kwitnienia ($SR2^2$, $SR2$ – w postaci kwadratowej i liniowej) i temperatura minimalna pierwszej i trzeciej fazy rozwojowej. Zmienne $T_{max}3$, $SR2$, $T_{min}1$ wystąpiły ze znakiem ujemnym, natomiast $SR2^2$ i $T_{min}3$ z dodatnim. Korelacje między plonem odmiany Juno w Głodowie a $SR2$, $SR2^2$, $T_{max}3$, $T_{min}3$ były ujemne, a istotna na poziomie $\alpha = 0,05$ była korelacja z $T_{max}3$ (załącznik: tab. Z-1). Korelacja plonu z $T_{min}1$ była natomiast dodatnia.

Odmiana Juno jest termoneutralna, nie wymaga zatem jaryzacji, a wyższe temperatury minimalne w okresie od siewu do wschodów mogą wpływać korzystnie na plon. Współczynniki determinacji osiągnęły bardzo wysokie wartości: R^2 od 0,58 do 0,87, R^2_{adj} od 0,56 do 0,81, R^2_{pred} od 0,47 do 0,67, a więc przedstawione w tabeli 11 równania posiadają też wysoką zdolność predykcyjną.

W Marianowie, dla odmiany Juno zbudowano dwa równania – jednakowe dla obu zestawów zmiennych, bowiem w ich skład weszły tylko podstawowe zmienne meteorologiczne, tj. suma opadów okresu od wschodów do początku kwitnienia ($P2$), która istotnie ujemnie oddziaływała na plon odmiany oraz suma promieniowania całkowitego okresu kwitnienia ($SR3$); jej wpływ okazał się istotnie dodatni. Współczynniki determinacji równania, w którym znalazła się tylko zmienna $P2$, osiągnęły wysokie wartości: $R^2 = 0,69$, $R^2_{adj} = 0,66$, $R^2_{pred} = 0,58$, a równania, w którym wystąpiła także suma promieniowania całkowitego ($SR3$), współczynniki determinacji wzrosły znacząco do: 0,88, 0,85 i 0,78 i to równanie zostało wykorzystane do prognozy plonów w dalszej części pracy. Istotność modeli po zastosowaniu procedury *Cross Validation* była rzędu 0,01.

W równaniach określających zależność między plonem odmiany Juno w Sulejowie a zmiennymi meteorologicznymi, istotnie ujemnie na wysokość plonu wpływała temperatura średnia (zestaw zmiennych podstawowych) lub maksymalna (zestaw z wartościami ekstremalnymi temperatury) okresu kwitnienia ($T_{sr}3$ lub $T_{max}3$). Jednak zastosowanie procedury *CV* wyeliminowało wszystkie równania; bowiem współczynniki determinacji R^2_{pred} osiągnęły niskie wartości od 0 do 0,20, stąd żadne równanie nie okazało się istotne.

W Uhninie istotne modele zbudowano, wykorzystując informacje dotyczące warunków meteorologicznych co najmniej do końca kwitnienia. Gdy uwzględniano tylko czynniki podstawowe (SR, T_{sr}, P) – tabela 12, plon zależał głównie od sum promieniowania całkowitego okresu kwitnienia ($SR3^2$ – zależność kwadratowa) oraz od sum opadów w czasie od wschodów do początku kwitnienia ($P2$). Wyższe sumy promieniowania podczas kwitnienia odmiany wpływały dodatnio na jej plon, a wyższe opady w drugim okresie rozwojowym – ujemnie. Współczynniki determinacji R^2 w dwóch równaniach (wyróżnionych dla okresów 1-3) osiągnęły wartości 0,56 i 0,62. Współczynniki R^2_{adj} wyniosły 0,50 i 0,54, a R^2_{pred} odpowiednio 0,42 i 0,46.

Tabela 10. Współczynniki determinacji, istotność i błędy standardowe równań regresji określających zależność między plonem łubinu żółtego odmiany Juno a zmiennymi meteorologicznymi (*SR*, T_{sr}, *P*) oraz wyselekcjonowane modele po zastosowaniu procedury *Cross Validation*
Table 10. 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*, T_{sr}, *P*) and selected models after the *Cross Validation* procedure

Okres Period	Zmienne (w równaniach regresji) Variables (in regression equations)					*n*	R^2	R^2_{adj}	R^2_{pred}	*RMSE*	Równanie regresji Regression equation
						Głodowo					
1	–						–	–	–	–	–
1-2	–						–	–	–	–	–
1-3	$\boldsymbol{T_{sr}3}$						0,43***	0,39***	0,30**	0,66	$y = 8{,}0884^{****} - 0{,}3261^{***}T_{sr}3$
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$SR2^2$					0,49***	0,42**	0,28	0,65	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$SR2^2$	$SR2$			17	0,55**	0,44**	0,01	0,63	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$SR2^2$	$SR2$	$T_{sr}1$			0,63**	0,51*	0,16	0,59	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$\boldsymbol{SR2^2}$	$\boldsymbol{SR2}$	$\boldsymbol{T_{sr}1}$	$\boldsymbol{T_{sr}3^2}$		0,76***	0,65**	0,37	0,50	–
1-4	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$P4^2$					0,49***	0,42**	0,26	0,64	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$P4^2$	$P2$				0,54**	0,43*	0,18	0,64	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$P4^2$	$P2$	$P2^2$			0,60**	0,46*	0,12	0,62	–
						Marianowo					
1	–						–	–	–	–	–
1-2	$\boldsymbol{P2}$						0,69***	0,66***	0,58***	0,48	$y = 3{,}8829^{****} - 0{,}0209^{***}P2$
1-3	$\boldsymbol{P2}$	$\boldsymbol{SR3}$				11	0,88****	0,85****	0,78***	0,32	$y = 2{,}3183^{***} - 0{,}0209^{****}P2 + 0{,}0043^{***}SR3$
1-4	brak lepszych – lack of better						–	–	–	–	–

Sulejów									
1	$SR1^2$					0,11	0,04	0	0,59	–
1-2	brak lepszych – lack of better					–	–	–	–	–
1-3	$T_{sr}3$					0,24*	0,17	0	0,54	–
	$T_{sr}3$	$T_{sr}3^2$				0,45**	0,35*	0,11	0,48	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$\boldsymbol{T_{sr}3^2}$	$P2^2$		14	0,50*	0,35	0	0,48	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$\boldsymbol{T_{sr}3^2}$	$P2^2$	$P2$		0,59*	0,40	0	0,46	–
1-4	$T_{sr}3$	$T_{sr}3^2$	$T_{sr}4$			0,52*	0,38	0,20	0,47	–
	$T_{sr}3$	$\boldsymbol{T_{sr}3^2}$	$T_{sr}4$	$T_{sr}2$		0,65**	0,50	0,18	0,42	–
Uhnin										
1	$SR1^2$					0,09	0,03	0	0,58	–
1-2	$\boldsymbol{P2}$					0,32**	0,27**	0,08	0,50	–
	$\boldsymbol{P2}$	$P2^2$				0,47**	0,37**	0,04	0,47	–
	$\boldsymbol{P2}$	$P2^2$	$P1$			0,57**	0,47**	0,10	0,43	–
1-3	$\boldsymbol{SR3^2}$				17	0,39***	0,35**	0,17	0,47	–
	$\boldsymbol{SR3^2}$	$\boldsymbol{P2}$				0,56***	0,50***	0,42**	0,42	$y = 1{,}4238^{**} + 0{,}000008^{**}SR3^2 - -0{,}0072^{**}P2$
	$\boldsymbol{SR3^2}$	$\boldsymbol{P2}$	$P1$			0,62***	0,54**	0,46**	0,40	$y = 1{,}7388^{***} + 0{,}000007^{**}SR3^2 - -0{,}0077^{**}P2 - 0{,}0089P1$
1-4	brak lepszych – lack of better					–	–	–	–	–

Objaśnienia jak w tabelach 6, 7 i 9 – Explanations as in Tables 6, 7 and 9:
n – liczba obserwacji – number of observations, R^2 – współczynnik determinacji – coefficient of determination,
R^2_{adj} – poprawiony współczynnik determinacji – adjusted coefficient of determination,
R^2_{pred} – predykcyjny współczynnik determinacji – predicted coefficient of determination,
RMSE – błąd standardowy estymacji (*Root Mean Square Error* – pierwiastek z błędu średniokwadratowego),
*, **, ***, **** – poziomy istotności – significance levels $\alpha = 0{,}1; 0{,}05; 0{,}01; 0{,}001$;
Pogrubienie zmiennej (bold variable) – współczynnik korelacji istotny co najmniej na poziomie 0,05 – coefficient of correlation significant at least at the level of 0.05.

Tabela 11. Współczynniki determinacji, istotność i błędy standardowe równań regresji określających zależność między plonem łubinu żółtego odmiany Juno a zmiennymi meteorologicznymi (*SR*, T_{max}, T_{min}, T_{sr}, *P*) oraz wyselekcjonowane modele po zastosowaniu procedury *Cross Validation*
Table 11. 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*, T_{max}, T_{min}, T_{sr}, *P*) and selected models after the *Cross Validation* procedure

Okres Period	Zmienne (w równ. regresji) Variables (in regression eq.)	*n*	R^2	R^2_{adj}	R^2_{pred}	*RMSE*	Równanie regresji Regression equation
			Głodowo				
1	–		–	–	–	–	–
1-2	$\sum T_{min}2$		0,24**	0,19*	0,08	0,76	–
1-3	$T_{max}3$		0,58****	0,56****	0,47***	0,56	$y = 9{,}2039^{****} - 0{,}2928^{****} T_{max}3$
	$T_{max}3$ $SR2^2$		0,70****	0,65****	0,57***	0,50	$y = 8{,}7665^{****} - 0{,}3486^{****} T_{max}3 + 0{,}000002^{**} SR2^2$
1-4	$T_{max}3$ $SR2^2$ $T_{min}1$	17	0,75****	0,69***	0,61***	0,47	$y = 10{,}2493^{****} - 0{,}3979^{****} T_{max}3 + 0{,}000002^{**} SR2^2 - 0{,}1581^{*} T_{min}1$
	$T_{max}3$ $SR2^2$ $T_{min}1$ $SR2$		0,84****	0,78****	0,58**	0,40	$y = 40{,}171^{***} - 0{,}3966^{****} T_{max}3 + 0{,}00004^{**} SR2^2 - 0{,}2103^{**} T_{min}1 - 0{,}0646^{**} SR2$
	$T_{max}3$ $SR2^2$ $T_{min}1$ $SR2$ $T_{min}3$		0,87****	0,81***	0,67**	0,37	$y = 40{,}5337^{****} - 0{,}4286^{****} T_{max}3 + + 0{,}00004^{**} SR2^2 - 0{,}1869^{**} T_{min}1 - 0{,}0674^{**} SR2 + 0{,}1338^{*} T_{min}3$
			Marianowo				
1	–		–	–	–	–	–
1-2	$P2$		0,69***	0,66***	0,58***	0,48	$y = 3{,}8829^{****} - 0{,}0209^{***} P2$
1-3	$P2$ $SR3$	11	0,88****	0,85****	0,78***	0,32	$y = 2{,}3183^{***} - 0{,}0209^{****} P2 + ,0043^{***} SR3$
1-4	brak lepszych – lack of better		–	–	–	–	–

			Sulejów				
1	$\sum T_{max}1$		0,12	0,04	0	0,59	–
	$\sum T_{max}1$	$(\sum T_{min}1)^2$	0,19	0,05	0	0,58	–
	$\sum T_{max}1$	$(\sum T_{min}1)^2$ $\sum T_{min}1$	0,31	0,10	0	0,57	–
1-2	brak lepszych – lack of better		–	–	–	–	–
1-3	$\boldsymbol{T_{max}3}$	14	0,35**	0,30**	0,08	0,50	–
	$\boldsymbol{T_{max}3}$	$(\sum T_{max}1)^2$	0,48**	0,39*	0,08	0,47	–
	$\boldsymbol{T_{max}3}$	$(\sum T_{max}1)^2$ $SR3^2$	0,57**	0,44	0,12	0,45	–
1-4	$\boldsymbol{T_{max}3}$ $T_{max}4$	$(\sum T_{max}1)^2$ $SR3^2$	0,63**	0,47	0	0,44	–
			Uhnin				
1	$\sum T_{sr}1$		0,11	0,05	0	0,57	–
1-2	$\boldsymbol{P2}$		0,32**	0,27**	0,08	0,50	–
	$\boldsymbol{P2}$	$\sum T_{min}1$	0,44**	0,36**	0,07	0,47	–
	$\boldsymbol{P2}$	$\sum \boldsymbol{T_{min}1}$ $T_{max}2$	0,56**	0,45**	0,11	0,44	–
1-3	$(\sum \boldsymbol{T_{max}3})^2$	17	0,49***	0,45***	0,32**	0,44	$y = 0{,}4513 + 0{,}000007{***}(\sum T_{max}3)^2$
	$(\sum \boldsymbol{T_{max}3})^2$	$\boldsymbol{SR2^2}$	0,70****	0,65****	0,58***	0,35	$y = -0{,}6636+0{,}000007{****}(\sum T_{max}3)^2 + 0{,}000002{***}SR2^2$
1-4	$(\sum \boldsymbol{T_{max}3})^2$	$\boldsymbol{SR2^2}$ $\sum T_{min}4$	0,76****	0,71****	0,52**	0,32	$y = -1{,}4539{**} + 0{,}000006{****}(\sum T_{max}3)^2 + 0{,}000002{***}SR2^2 + 0{,}0024{*}\sum T_{min}4$

Objaśnienia jak w tabelach 6, 7, 9 i 10 – Explanations as in Tables 6, 7, 9 and 10.

Tabela 12. Współczynniki determinacji, istotność i błędy standardowe równań regresji określających zależność między plonem łubinu żółtego odmiany Parys a zmiennymi meteorologicznymi (*SR*, T_{sr}, *P*) oraz wyselekcjonowane modele po zastosowaniu procedury *Cross Validation*
Table 12. Coefficients of determination, significance and standard errors of the regression equations defining the relationship between the yield of yellow lupin Parys cultivar and meteorological variables (*SR*, T_{sr}, *P*) and selected models after the *Cross Validation* procedure

Okres Period	Zmienne (w równaniu regresji) Variables (in regression eq.)	*n*	R^2	R^2_{adj}	R^2_{pred}	*RMSE*	Równanie regresji Regression equation
	Głodowo						
1	*P*1		0,11	0,05	0	0,80	–
1-2	brak lepszych – lack of better		–	–	–	–	–
1-3	$T_{sr}3$		0,18*	0,13	0	0,76	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$ $T_{sr}1^2$	17	0,35***	0,25	0,11	0,71	–
	$T_{sr}3$ $\boldsymbol{T_{sr}1^2}$ $T_{sr}3^2$		0,45**	0,33	0,16	0,67	–
1-4	$T_{sr}3$ $\boldsymbol{T_{sr}1^2}$ $T_{sr}3^2$ $P4^2$		0,52*	0,37	0,15	0,66	–
	Marianowo						
1	$SR1^2$		0,17	0,08	0	0,70	–
1-2	***P2***		0,69***	0,65***	0,57***	0,43	$y = 3{,}5804^{****} - 0{,}0166^{***}P2$
	P2 *SR2*		0,78***	0,72***	0,59**	0,38	$y = 5{,}4177^{****} - 0{,}0166^{***}P2 - 0{,}0017SR2$
1-3	***P2*** ***SR2*** $\boldsymbol{T_{sr}3^2}$	11	0,89****	0,84***	0,80***	0,29	$y = 6{,}7324^{****} - 0{,}0159^{****}P2 - 0{,}002^{**}SR2 - 0{,}0032^{**}T_{sr}3^2$
1-4	***P2*** ***SR2*** $\boldsymbol{T_{sr}3^2}$ *SR*4		0,93***	0,88***	0,83**	0,25	$y = 7{,}8602^{****} - 0{,}0142^{****}P2 - 0{,}002^{**}SR2 - 0{,}004^{**}T_{sr}3^2 - 0{,}0018SR4$

Sulejów										
1	$T_{sr}1$					0,13	0,06	0	0,49	–
1-2	$SR2^2$					0,20	0,14	0	0,47	–
1-3	$T_{sr}3$					0,27*	0,21*	0	0,45	–
	$T_{sr}3$	$SR2^2$				0,40*	0,29	0	0,42	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$\boldsymbol{SR2^2}$	$\boldsymbol{T_{sr}3^2}$		14	0,60**	0,48*	0,09	0,36	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$\boldsymbol{SR2^2}$	$\boldsymbol{T_{sr}3^2}$	$\boldsymbol{SR2}$		0,76***	0,65**	0,48	0,29	–
1-4	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$T_{sr}4$				0,49**	0,40*	0,11	0,39	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$\boldsymbol{T_{sr}4}$	$SR2^2$			0,65**	0,54**	0,25	0,34	–
	$\boldsymbol{T_{sr}3}$	$\boldsymbol{T_{sr}4}$	$SR2^2$	$SR2$		0,72**	0,60*	0,33	0,32	–
Uhnin										
1			–		17	–	–	–	–	–
1-2	$P2$					0,07	0,01	0	0,51	–
	$P2$	$SR1^2$				0,18	0,06	0	0,50	–
	$P2$	$SR1^2$	$P1$			0,28	0,12	0	0,49	–
1-3	$\boldsymbol{P3^2}$					0,39***	0,35**	0	0,42	–
	$\boldsymbol{P3^2}$	$P3$				0,50***	0,43**	0,34*	0,39	$y = 1{,}3953^{****} - 0{,}0001^{**}P3^2 + 0{,}0109P3$
	$\boldsymbol{P3^2}$	$\boldsymbol{P3}$	$T_{sr}2$			0,60***	0,51**	0,37	0,36	–
	$\boldsymbol{P3^2}$	$\boldsymbol{P3}$	$T_{sr}2$	$SR1$		0,64**	0,52**	0,18	0,36	–
	$\boldsymbol{P3^2}$	$\boldsymbol{P3}$	$T_{sr}2$	$SR1$	$P1$	0,70**	0,57*	0,04	0,34	–
1-4	brak lepszych – lack of better					–	–	–	–	–

Objaśnienia jak w tabelach 6, 7, 9 i 10 – Explanations as in Tables 6, 7, 9 and 10.

Tabela 13. Współczynniki determinacji, istotność i błędy standardowe równań regresji określających zależność między plonem łubinu żółtego odmiany Parys a zmiennymi meteorologicznymi (*SR*, T_{max}, T_{min}, T_{sr}, *P*) oraz wyselekcjonowane modele po zastosowaniu procedury *Cross Validation*

Table 13. Coefficients of determination, significance and standard errors of the regression equations defining the relationship between the yield of yellow lupin Parys cultivar and meteorological variables (*SR*, T_{max}, T_{min}, T_{sr}, *P*) and selected models after the *Cross Validation* procedure

Okres Period	Zmienne (w równaniu regresji) Variables (in regression equation)	*n*	R^2	R^2_{adj}	R^2_{pred}	*RMSE*	Równanie regresji Regression equation
			Głodowo				
1	*P*1		0,11	0,05	0	0,80	–
1-2	$(\sum T_{max}2)^2$		0,11	0,05	0	0,80	–
1-3	$\boldsymbol{T_{max}3}$		0,28**	0,24**	0,06	0,70	–
	$\boldsymbol{T_{max}3}$ $T_{sr}1^2$	17	0,45**	0,37**	0,26	0,65	–
	$T_{max}3$ $\boldsymbol{T_{sr}1^2}$ $T_{max}3^2$		0,55**	0,45**	0,20	0,61	–
	$T_{max}3$ $\boldsymbol{T_{sr}1^2}$ $T_{max}3^2$ $T_{max}2$		0,62**	0,49*	0,22	0,58	–
1-4	$T_{max}3$ $\boldsymbol{T_{sr}1^2}$ $T_{max}3^2$ $T_{max}2$ $T_{min}4$		0,68**	0,54*	0,10	0,55	–
			Marianowo				
1	$SR1^2$		0,17	0,08	0	0,70	–
1-2	***P2***		0,69***	0,65***	0,57***	0,43	$y = 3{,}5804^{****} - 0{,}0166^{***}P2$
	P2 *SR*2	11	0,78***	0,72***	0,59**	0,38	$y = 5{,}4177^{****} - 0{,}0166^{***}P2 - 0{,}0017SR2$
1-3	***P2*** ***SR2*** $\boldsymbol{T_{min}3^2}$		0,89****	0,84***	0,77**	0,29	$y = 7{,}9273^{****} - 0{,}0169^{****}P2 - 0{,}0027^{**}SR2 - 0{,}0089^{**}T_{min}3^2$
1-4	brak lepszych – lack of better		–	–	–	–	–

Sulejów									
1	$T_{max}1$					0,18	0,12	0	0,47	–
1-2	$(\sum T_{max}2)^2$					0,22*	0,15	0	0,46	–
1-3	$\boldsymbol{T_{max}3^2}$					0,43**	0,38**	0,16	0,39	–
	$\boldsymbol{T_{max}3^2}$	$SR3^2$				0,54**	0,46**	0,17	0,37	–
1-4	$\boldsymbol{T_{max}3^2}$	$\boldsymbol{T_{min}4}$			14	0,68***	0,62***	0,49**	0,31	$y = 0{,}3382 - 0{,}0029^{***}T_{max}3^2 + 0{,}2449^{**}T_{min}4$
	$\boldsymbol{T_{max}3^2}$	$\boldsymbol{T_{min}4}$	$\boldsymbol{(\sum T_{max}4)^2}$			0,87****	0,83****	0,63**	0,21	$y = 1{,}2874 - 0{,}0034^{****}T_{max}3^2 + 0{,}2324^{***}T_{min}4 - 0{,}000001^{***}\sum T_{max}4^2$
	$\boldsymbol{T_{max}3^2}$	$\boldsymbol{T_{min}4}$	$\boldsymbol{(\sum T_{max}4)^2}$	$P2$		0,91****	0,87****	0,78***	0,18	$y = 1{,}4242^{*} - 0{,}0033^{****}T_{max}3^2 + 0{,}2392^{****}T_{min}4 - 0{,}000001^{***}\sum T_{max}4^2 - 0{,}0027^{*}P2$
Uhnin										
1	$\sum T_{min}1$					0,14	0,09	0	0,49	–
1-2	$\sum T_{min}1$	$P2$				0,28	0,18	0	0,47	–
	$\sum T_{min}1$	$P2$	$(\sum T_{min}1)^2$			0,37	0,23	0	0,45	–
	$\sum T_{min}1$	$\boldsymbol{P2}$	$(\sum T_{min}1)^2$	$P1$		0,44	0,25	0	0,44	–
1-3	$\boldsymbol{P3^2}$				17	0,39***	0,35**	0	0,42	–
	$\boldsymbol{P3^2}$	$P3$				0,50***	0,43**	0,34*	0,39	$y = 1{,}3953^{****} - 0{,}0001^{**}P3^2 + 0{,}0109P3$
	$\boldsymbol{P3^2}$	$\boldsymbol{P3}$	$T_{sr}2$			0,60***	0,51**	0,37	0,36	–
	$\boldsymbol{P3^2}$	$\boldsymbol{P3}$	$\boldsymbol{T_{sr}2}$	$\boldsymbol{T_{min}3}$		0,72***	0,62**	0,42	0,32	–
1-4	brak lepszych – lack of better					–	–	–	–	–

Objaśnienia jak w tabelach 6, 7, 9 i 10 – Explanations as in Tables 6, 7, 9 and 10.

Spośród wszystkich badanych czynników meteorologicznych (SR, T_{max}, T_{min}, T_{sr}, P) decydującą rolę w kształtowaniu wysokości plonu odmiany Juno w Uhninie odgrywała suma temperatury maksymalnej okresu kwitnienia – $(\sum T_{max}3)^2$, która wyjaśniała 49% zmienności całkowitej plonu (tab. 11). Wyższe wartości tego czynnika wpływały korzystnie na plon. Współczynnik determinacji (R^2_{pred}) utworzonego równania wyniósł 0,32. Kolejną istotną zmienną występującą z dodatnim znakiem w modelach była suma promieniowania całkowitego w okresie od wschodów do początku kwitnienia ($SR2^2$), również w postaci kwadratowej. Współczynniki determinacji po włączeniu tej zmiennej do modelu przyjęły wartości: R^2 – 0,70, R^2_{adj} – 0,65, a R^2_{pred} – 0,58. Gdy w modelu znalazła się jeszcze suma temperatury minimalnej w okresie od końca kwitnienia do dojrzałości technicznej – $\sum T_{min}4$ (także z dodatnim znakiem), współczynniki R^2 i R^2_{adj} wzrosły do 0,76 i 0,71, lecz wartość współczynnika R^2_{pred} była niższa – 0,52, wobec czego wcześniejsze równanie posiada wyższą zdolność predykcyjną. W początkowych okresach wzrostu odmiany Juno w Uhninie niekorzystnie na plonowanie wpływały zbyt wysokie opady w drugiej miedzyfazie ($P2$ ze znakiem minus) oraz wyższe od normy sumy temperatury minimalnej w czasie od siewu do wschodów ($\sum T_{min}1$ również z ujemnym znakiem). Korzystne natomiast były wyższe wartości temperatury maksymalnej w drugim okresie rozwoju odmiany ($T_{max}2$). Jednak z powodu niskich współczynników R^2_{pred}, równania powstałe z czynników dostępnych przed początkiem kwitnienia zostały zdyskwalifikowane.

Tabele 12-13 przedstawiają współczynniki determinacji, błędy standardowe i zmienne wchodzące w skład równań regresji oraz wyselekcjonowane modele określające zależność między plonem łubinu żółtego odmiany Parys a zmiennymi meteorologicznymi.

W Głodowie do modeli utworzonych dla odmiany Parys weszły: temperatura średnia lub maksymalna okresu kwitnienia, w zależności od przyjętego zestawu zmiennych objaśniających (podobnie jak w przypadku odmiany Juno w tej miejscowości) oraz średnia temperatura dobowa pierwszego okresu rozwojowego w postaci funkcji kwadratowej ($T_{sr}1^2$), lecz niezależnie od zestawu zmiennych, z powodu niskich wartości współczynnika R^2_{pred}, dla odmiany Parys nie wyodrębniono żadnego równania, które mogłoby posłużyć do prognozowania plonu łubinu.

W Marianowie (tab. 12-13), w obu zestawach zmiennych, czynnikami wpływającymi istotnie ujemnie na wysokość plonu odmiany Parys były: suma opadów atmosferycznych ($P2$) oraz suma promieniowania całkowitego ($SR2$) w okresie od wschodów do początku kwitnienia. Ponadto w skład równań weszły: temperatura średnia okresu kwitnienia ($T_{sr}3^2$) – w przypadku podstawowego zestawu czynników (tab.12) lub średnia temperatura minimalna ($T_{min}3^2$), gdy analizowano zestaw z temperaturami ekstremalnymi (tab.13). Współczynniki determinacji wyselekcjonowanych równań wyniosły: R^2 – od 0,69 do 0,93, R^2_{adj} – od 0,65 do 0,88,

a R^2_{pred} – od 0,57 do 0,83 i jedno z równań tego zestawu zmiennych (*SR*, T_{sr}, *P*) przyjęto do prognozy plonów w warunkach $2CO_2$.

Niekorzystny wpływ wysokich opadów w drugim okresie rozwojowym wynika z nadmiernego rozrostu części wegetatywnych roślin kosztem generatywnych i opóźnienia zakwitania. Kwitnienie łubinu przypada wtedy na pierwszą połowę lipca, co jest bardzo niekorzystne, gdyż wysokie temperatury skracają tę fazę, mogą być też być powodem osypywania strąków, a to skutkuje obniżeniem wysokości plonu.

Z zestawu zmiennych podstawowych (tab. 12), do modeli zbudowanych dla odmiany Parys w Sulejowie, w okresach od siewu do końca kwitnienia, wchodziły jako istotne zmienne: średnia temperatura okresu kwitnienia ($T_{sr}3$ i $T_{sr}3^2$) – podobnie jak w modelach odmiany Juno – oraz suma promieniowania całkowitego w okresie przed kwitnieniem (*SR*2 i $SR2^2$). Oba czynniki wystąpiły w postaci liniowej ze znakiem ujemnym oraz w postaci kwadratowej ze znakiem dodatnim. Oznacza to, że korzystnie na plon wpływały niższe od przeciętnych wartości tych parametrów, co miało miejsce głównie wtedy, gdy okres od wschodów do początku kwitnienia zaczynał się wcześniej i trwał krócej. Gdy dodano zmienne meteorologiczne okresu od końca kwitnienia do dojrzałości technicznej, to średnia temperatura tego okresu rozwojowego ($T_{sr}4$) weszła do modeli przed $SR2^2$, a jej oddziaływanie na plon było dodatnie. Niestety, współczynniki R^2_{adj} i R^2_{pred} równań, utworzonych przy udziale zmiennych podstawowych, były znacznie niższe od R^2, wobec czego równania okazały się niewystarczające do prognozy plonów.

Test *Cross Validation* pozytywnie przeszły natomiast modele utworzone dla odmiany Parys w Sulejowie, ale z wykorzystaniem rozszerzonego zestawu zmiennych (tab. 13). Na wysokość plonu przede wszystkim ujemnie wpływała uśredniona dla wielolecia temperatura maksymalna okresu kwitnienia (podobnie jak w przypadku odmiany Juno w tej miejscowości oraz obu odmian łubinu żółtego w Głodowie) – $T_{max}3^2$ (zależność kwadratowa) oraz dodatnio temperatura minimalna w czasie od końca kwitnienia do dojrzałości technicznej ($T_{min}4$). Ponadto, w skład równań weszła suma temperatury maksymalnej ostatniego okresu rozwojowego w postaci kwadratowej – $(\sum T_{max}4)^2$. Znak ujemny przy tej zmiennej oznacza, że skumulowanie wysokich sum temperatury maksymalnej w okresie dojrzewania łubinu miało niekorzystny wpływ na plonowanie odmiany Parys, mogło powodować pękanie strąków i osypywanie ziarna. W ostatnim utworzonym modelu na czwartej pozycji znalazła się jeszcze suma opadów od wschodów do początku kwitnienia (*P*2), także ze ujemnym znakiem. Współczynniki determinacji trzech wyselekcjonowanych równań zawierały się w przedziałach: R^2 – 0,68-0,91, R^2_{adj} – 0,62-0,87, R^2_{pred} – 0,49-0,78, a błędy średniokwadratowe *RMSE:* od 0,31 do 0,18 $t \cdot ha^{-1}$.

Spośród równań regresji zbudowanych dla odmiany Parys w Uhninie (tab. 12-13), niezależnie od przyjętego zestawu zmiennych objaśniających, tylko jedno przeszło pozytywnie procedurę *Cross Validation*. W jego skład weszły podstawowe zmienne: suma opadów okresu kwitnienia, w postaci liniowej ($P3$) i kwadratowej ($P3^2$). Na pierwszym miejscu, istotna na poziomie $\alpha = 0,05$, znalazła się zmienna $P3^2$ ze znakiem ujemnym, co oznacza, że zarówno bardzo wysokie, jak też niskie opady w czasie kwitnienia wpływały na obniżenie plonu, natomiast umiarkowane (zbliżone do średnich) na jego wzrost, o czym świadczy też dodatni znak przy $P3$. Przy badaniu korelacji między zmiennymi meteorologicznymi a plonem odmiany Parys w Uhninie (załącznik: tab. Z-8) współczynniki obu zmiennych – $P3^2$ oraz $P3$ okazały się ujemne, z tym, że istotna była tylko korelacja z $P3^2$. Współczynnik determinacji R^2 utworzonego modelu wyniósł 0,50, poprawiony współczynnik determinacji R^2_{adj} – 0,43, a R^2_{pred} decydujący o jego przydatności – 0,34.

5.5. Przykłady wykorzystania modeli do prognozy plonów łubinu żółtego

Wybrane, najlepsze równania spośród tych, które pozytywnie przeszły weryfikację testem *Cross Validation*, posłużyły do prognozy plonów łubinu w przyszłych warunkach klimatycznych, scharakteryzowanych według założeń trzech scenariuszy zmian klimatu: GISS, HadCM3, GFDL. Symulacji plonów dokonano na przykładzie jednego wybranego dla każdej odmiany modelu, zbudowanego dla stacji w Marianowie.

Dokonano porównania statystyki opisowej zmiennych występujących w modelach (uzyskanych z danych rzeczywistych i prognozowanych) oraz plonów aktualnych i oszacowanych na lata 2050-2060, sporządzono rozkłady prawdopodobieństwa Weibulla, obliczono kwantyle, wartości krytyczne oraz granice i prawdopodobieństwa tolerancji. Otrzymane wyniki przedstawiono według ujednoliconego schematu w tabelach 14-19 oraz na rysunkach 3 i 4.

5.5.1. Odmiana Juno

Do prognozy plonów odmiany Juno w stacji Marianowo posłużono się równaniem:

$$y = 2,3183*** - 0,0209****P2 + 0,0043***SR3 \qquad \text{(tab. 10, 11)}$$

W jego skład weszły: suma opadów okresu od wschodów do początku kwitnienia, ze współczynnikiem regresji istotnym na poziomie 0,001 oraz suma pro-

mieniowania całkowitego w czasie kwitnienia, którego współczynnik regresji był istotny na poziomie 0,01. Statystykę opisową zmiennych występujących w modelu przedstawia tabela 14.

Tabela 14. Charakterystyka zmiennych modelowych obserwowanych i generowanych – odmiana Juno w Marianowie
Table 14. Characteristics of observed and generated model variables – Juno cultivar in Marianowo

Parametr Parameter	Zmienne Obserwowane Observed variables		Zmienne generowane – Generated variables					
			GISS		HadCM3		GFDL	
	P2	*SR3*	*P2*	*SR3*	*P2*	*SR3*	*P2*	*SR3*
n	11	11	100	100	100	100	100	100
$\bar{x}$	**80,5**	**361,0**	**69,7**	**355,4**	**63,6**	**346,5**	**68,5**	**356,7**
s^2	1074,7	6752,2	783,9	1149,6	730,8	1375,0	715,6	935,3
s	32,8	82,2	28,0	33,9	27,0	37,1	26,8	30,6
max	144,0	463,2	150,6	435,6	127,0	432,4	176,9	463,9
min	48,1	166,5	18,2	282,4	13,7	270,1	24,4	283,6
max-min	95,9	296,8	132,4	153,2	113,3	162,3	152,5	180,3
V	40,7	22,8	40,2	9,5	42,5	10,7	39,1	8,6

Objaśnienia jak w tabelach 6, 7 i 9 – Explanations as in Tables 6, 7 and 9.
n – liczba obserwacji – number of observations,
s^2 – wariancja – variance,
max – min – rozstęp – range.

Prognozowane, według wszystkich scenariuszy, średnie sumy opadów w okresie od wschodów do początku kwitnienia okazały się niższe w porównaniu z obserwowanymi – o 13% (GISS), 15% (GFDL) i 21% (HadCM3). Również wariancja i odchylenie standardowe zmiennej *P2* najwyższe były w przypadku wartości obserwowanych, niższe generowanych według scenariuszy GISS i HadCM3, a najniższe, gdy przyjęto scenariusz GFDL. Maksymalne opady były najwyższe przy założeniu scenariusza GFDL – 176,9 mm, następnie GISS – 150,6 mm i danych obserwowanych – 144,0 mm, a najniższe według scenariusza HadCM3 – 127,0 mm. Przy założeniu scenariusza HadCM3 najniższa była wartość minimalna – 13,7 mm. Wartość *min* zgodnie z GISS wyniosła 18,2 mm, według GFDL – 24,4 mm, a w latach doświadczeń – 48,1 mm. Rozstęp opadów w drugim okresie rozwojowym był wyraźnie większy przy założeniu scenariuszy zmian klimatu (od 113,3 mm – HadCM3 do 152,5 mm – GFDL) w porównaniu do obserwowanego – 95,9 mm.

Współczynniki zmienności *P*2 kształtowały się na podobnym poziomie – od 39,1 (GFDL) do 42,5% (HadCM3).

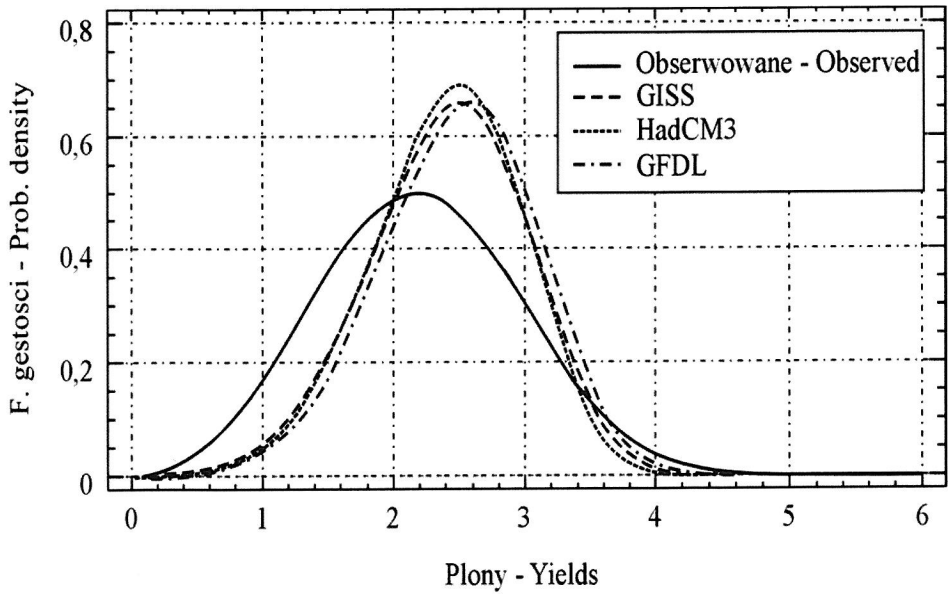
Średnie sumy promieniowania słonecznego w okresie kwitnienia również okazały się mniejsze według prognoz niż w rzeczywistości, jednak różnice były niewielkie, a wartości zawierały się w przedziale od 346,5 (GFDL) do 361,0 $MJ \cdot m^{-2}$ (obserwowane). Wariancja, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności *SR*3 zdecydowanie większe były w przypadku danych obserwowanych. Maksymalna suma promieniowania całkowitego w czasie kwitnienia, przy założeniu scenariusza GFDL, była zbliżona do wartości obserwowanej, a minimalna okazała się najniższa w latach prowadzenia doświadczeń, wobec czego rozstęp obserwowanych sum promieniowania całkowitego był największy. Średni plon odmiany Juno w Marianowie w latach 1997-2008 (bez roku 1998) wyniósł 2,20 $t \cdot ha^{-1}$ (tab. 15). Plony symulowane przewyższały rzeczywiste, przy czym ich zróżnicowanie w zależności od scenariuszy było nieznaczne; przeciętnie wahały się od 2,40 (GISS) do 2,49 $t \cdot ha^{-1}$ (HadCM3). Różnice między średnimi plonami należały do nieistotnych według testu Tukeya. Wariancja plonów obserwowanych była ponad dwukrotnie wyższa w porównaniu do symulowanych. Odchylenie standardowe plonów prognozowanych zawierało się w granicach od 0,57 (GFDL) do 0,62 $t \cdot ha^{-1}$ (HadCM3). Wartości te były niższe od odchylenia standardowego plonów obserwowanych (0,82 $t \cdot ha^{-1}$), co widać też na wykresach (rys. 3). Plony obserwowane miały też najwyższy współczynnik zmienności, wynoszący – 37,4%, podczas gdy dla symulowanych, wskaźnik mieścił się w przedziale od 23,5 (GFDL) do 25,3% (GISS).

Z liczb tabeli 16 wynika, że prawdopodobieństwo otrzymania w przyszłości plonów niższych od 2,0 $t \cdot ha^{-1}$ kształtuje się na poziomie od 21 (HadCM3) do 25% (GISS) i jest wyraźnie mniejsze niż w warunkach współczesnych (40%). Natomiast prawdopodobieństwo, że będą niższe od 1,0 $t \cdot ha^{-1}$ wyniosło około 1% w przypadku wszystkich scenariuszy, podczas gdy w aktualnych warunkach, takie plony (poniżej 1,0 $t \cdot ha^{-1}$) otrzymywano z prawdopodobieństwem około 6%. Z większym prawdopodobieństwem, sięgającym nawet 52% (HadCM3) będą występować plony większe od 2,5 $t \cdot ha^{-1}$, podczas gdy w latach doświadczeń takie plony zdarzały się z 35% prawdopodobieństwem. W warunkach przewidywanych zgodnie ze scenariuszami zmian klimatu, prawdopodobieństwo wystąpienia plonów przekraczających 3,0 $t \cdot ha^{-1}$ będzie podobne do dotychczasowego i wyniesie około 15-21%, a plonów wyższych od 3,5 $t \cdot ha^{-1}$ będzie niższe i wyniesie 2-4% (aktualnie 5%).

Tabela 15. Statystyka opisowa plonów obserwowanych i symulowanych ($t \cdot ha^{-1}$) – odmiana Juno w Marianowie
Table 15. Descriptive statistics of observed and simulated yields ($t\ ha^{-1}$) – Juno cultivar in Marianowo

Parametr Parameter	Plony obserwowane Observed yields	Plony symulowane – Simulated yields		
		GISS	HadCM3	GFDL
n	11	100	100	100
$\bar{y}$	**2,20**	**2,40**	**2,49**	**2,43**
s^2	0,68	0,37	0,38	0,33
s	0,82	0,61	0,62	0,57
max	3,57	3,78	3,73	3,36
min	1,00	0,63	0,92	0,02
max - min	2,57	3,14	2,81	3,34
V	37,35	25,33	24,73	23,56

Objaśnienia jak w tabelach 6, 7, 9 i 14 – Explanations as in Tables 6, 7, 9 and 14.



Rys. 3. Rozkłady prawdopodobieństwa plonów obserwowanych i symulowanych odmiany Juno w Marianowie
Fig. 3. Probability distributions of observed and simulated yields of Juno cultivar in Marianowo

Tabela 16. Dodatkowe informacje o prawdopodobieństwach osiągnięcia odpowiedniej wysokości plonu – odmiana Juno w Marianowie
Table 16. Additional information about the probability of achieving an appropriate amount of yield – Juno cultivar in Marianowo

Szacowane parametry Estimated parameters	Plony aktualne Actual yields	Plony dla $2xCO_2$ – Yields for $2xCO_2$		
		GISS	HadCM3	GFDL
1. Parametry rozkładu Weibulla Weibull distribution parameters				
kształt α	3,167	4,555	4,767	4,815
skala β	2,467	2,630	2,724	2,628
2. Kwantyle rozkładu Distribution quantiles				
$P\ (y < 1{,}0\ t \cdot ha^{-1})$	0,056	0,012	0,008	0,009
$P\ (y < 1{,}5\ t \cdot ha^{-1})$	0,187	0,075	0,057	0,065
$P\ (y < 2{,}0\ t \cdot ha^{-1})$	0,402	0,250	0,205	0,235
$P\ (y > 2{,}5\ t \cdot ha^{-1})$	0,352	0,452	0,515	0,456
$P\ (y > 3{,}0\ t \cdot ha^{-1})$	0,156	0,162	0,205	0,151
$P\ (y > 3{,}5\ t \cdot ha^{-1})$	0,048	0,025	0,037	0,019
3. Wartości krytyczne Critical values				
$P\ (y < y_0) = 0{,}01$	0,577	0,958	1,038	1,011
$P\ (y < y_0) = 0{,}05$	0,966	1,370	1,461	1,418
$P\ (y > y_0) = 0{,}05$	3,488	3,346	3,429	3,301
$P\ (y > y_0) = 0{,}01$	3,996	3,678	3,753	3,609
4. Granice i prawdopodobieństwo tolerancji Tolerance limits and probability				
$P\ (\bar{y} - s < y < \bar{y} + s)$	0,704	0,682	0,691	0,680
$P\ (\bar{y} - 2s < y < \bar{y} + 2s)$	0,974	0,960	0,963	0,956
$P\ (\bar{y} - 3s < y < \bar{y} + 3s)$	0,999	0,999	0,999	0,998

5.5.2. Odmiana Parys

Plony łubinu żółtego odmiany Parys w Marianowie prognozowano za pomocą modelu:

$$y = 6{,}7324^{****} - 0{,}0159^{****}P2 - 0{,}002^{**}SR2 - 0{,}0032^{**}T_{sr}3^2 \quad \text{(tab. 12)}$$

Znalazły się w nim zmienne drugiej (suma opadów – P2, suma promieniowania całkowitego – SR2) i trzeciej fazy rozwojowej (temperatura średnia w funkcji kwadratowej – $T_{sr}3^2$). Współczynnik regresji zmiennej *P2* był istotny na poziomie 0,001, natomiast współczynniki zmiennych *SR2* i $T_{sr}3^2$ na poziomie 0,05. Statystykę opisową zmiennych niezależnych zamieszczono w tabeli 17.

Tabela 17. Charakterystyka zmiennych modelowych obserwowanych i generowanych – odmiana Parys w Marianowie
Table 17. Characteristics of observed and generated model variables – Parys cultivar in Marianowo

Parametr Parameter	Zmienne obserwowane Observed variables			Zmienne generowane – GISS Generated variables – GISS		
	SR2	*P2*	$T_{sr}3$	*SR2*	*P2*	$T_{sr}3$
n	11	11	11	100	100	100
$\bar{x}$	**1094,7**	**93,5**	**18,2**	**980,7**	**77,3**	**18,6**
s^2	17351,8	1311,1	4,0	5961,1	835,4	2,8
s	131,7	36,2	2,0	77,2	28,9	1,7
max	1417,4	161,8	23,3	1219,7	150,6	22,6
min	912,3	53,1	15,4	767,3	23,9	14,3
max-min	505,1	108,7	7,8	452,4	126,7	8,3
V	12,0	38,7	10,9	7,9	37,4	9,1

Parametr Parameter	Zmienne generowane – HadCM3 Generated variables – HadCM3			Zmienne generowane – GFDL Generated variables – GFDL		
	SR2	*P2*	$T_{sr}3$	*SR2*	*P2*	$T_{sr}3$
n	100	100	100	100	100	100
$\bar{x}$	**978,3**	**71,2**	**19,5**	**997,8**	**74,1**	**18,8**
s^2	6421,0	769,4	3,6	6628,3	775,8	2,2
s	80,1	27,7	1,9	81,4	27,9	1,5
max	1186,6	150,5	24,1	1160,5	176,9	23,4
min	796,6	14,5	14,9	813,9	28,1	16,0
max-min	390,0	136,0	9,2	346,6	148,8	7,5
V	8,2	39,0	9,7	8,2	37,6	7,8

Objaśnienia jak w tabelach 6, 7, 9 i 14 – Explanations as in Tables 6, 7, 9 and 14.

W latach 1997-2008 (bez roku 1998) średnie sumy promieniowania całkowitego i opadów w okresie od wschodów do początku kwitnienia były wyższe w przypadku plonów doświadczalnych niż symulowanych. Obserwowana średnia wartość *SR*2 wyniosła 1094,7 MJ·m^{-2}, a według scenariuszy – 980,7 MJ·m^{-2} (GISS), 978,3 MJ·m^{-2} (HadCM3) i 997,8 MJ·m^{-2} (GFDL). Natomiast przeciętna suma opadów *P*2 zmierzona w stacji doświadczalnej w Marianowie przyjęła wartość 93,5 mm, podczas gdy prognozowane wartości były niższe: 77,3 (GISS), 74,1 mm (GFDL) i 71,2 (HadCM3). Przewidywana średnia temperatura okresu kwitnienia $T_{sr}3$ przewyższała rzeczywistą o 0,4 (GISS), 0,6 (HadCM3) i 1,3°C (HadCM3). Wariancja i odchylenie standardowe zmiennych rzeczywistych wyraźnie dominowały nad generowanymi z wykorzystaniem scenariuszy zmian klimatu. Współczynnik zmienności opadów prognozowanych według scenariusza HadCM3 był największy (39%), a wartości współczynników pozostałych zmiennych – *SR*2 i $T_{sr}3$ – najwyższe były w przypadku danych obserwowanych, wynosząc 12% dla SR2 i ok. 11% – $T_{sr}3$.

Średnie prognozowane plony odmiany Parys w stacji Marianowo (tab. 18) przewyższały rzeczywiste o ponad 21% (0,43 t·ha^{-1} – HadCM3 i GFDL, 0,44 t·ha^{-1} – GISS), ale różnice okazały się nieistotne według testu Tukeya, podobnie jak różnice pomiędzy średnimi według poszczególnych scenariuszy. Wariancja plonów obserwowanych wyniosła 0,53 t·ha^{-1}, a odchylenie standardowe – 0,73 t·ha^{-1}. W przypadku plonów symulowanych wariancja zawierała się w przedziale 0,51-0,54 t·ha^{-1}, a odchylenie standardowe – 0,26-0,29 t·ha^{-1} (GFDL – HadCM3).

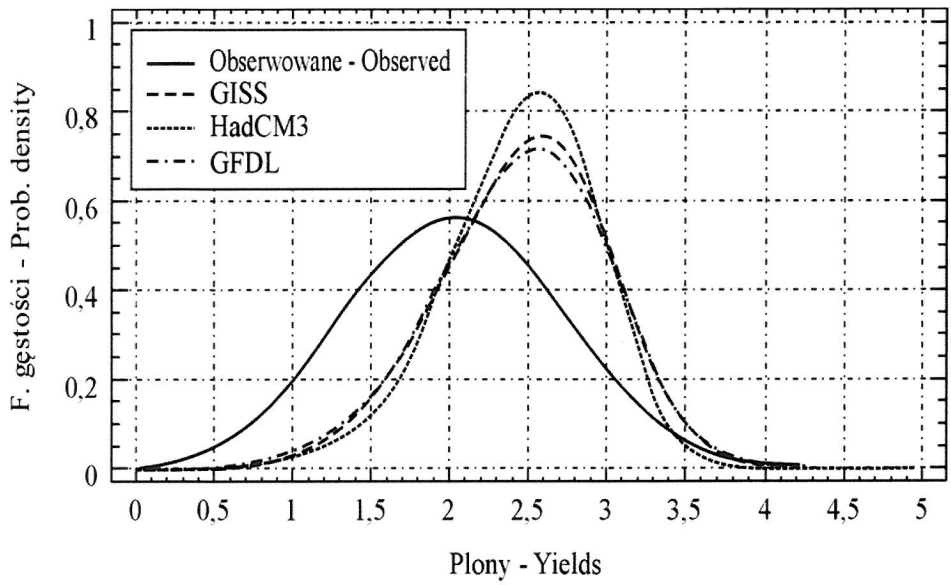
Tabela 18. Statystyka opisowa plonów obserwowanych i symulowanych (t·ha^{-1}) – odmiana Parys w Marianowie

Table 18. Descriptive statistics of observed and simulated yields (t ha^{-1}) – Parys cultivar in Marianowo

Parametr Parameter	Plony obserwowane Observed yields	Plony symulowane – Simulated yields		
		GISS	HadCM3	GFDL
N	11	100	100	100
$\bar{y}$	**2,03**	**2,47**	**2,46**	**2,46**
s^2	0,53	0,28	0,29	0,26
S	0,73	0,53	0,54	0,51
max	3,15	3,81	3,85	3,46
min	0,99	1,13	1,04	0,52
max - min	2,16	2,68	2,81	2,94
V	35,85	21,46	21,93	20,61

Objaśnienia jak w tabelach 6, 7, 9 i 14 – Explanations as in Tables 6, 7, 9 and 14.

Podobnie układały się wartości współczynników zmienności, które w przypadku wszystkich trzech scenariuszy były bliskie 21%, natomiast zmienność plonów rzeczywistych była wyraźnie większa, sięgała prawie 36%. Różnice te widoczne są na rysunku 4. Wartości maksymalne i rozstępy plonów symulowanych były wyższe od rzeczywistych, przy czym najwyższą wartość maksymalną – 3,85 t·ha^{-1} uzyskano przy założeniu scenariusza HadCM3, a najniższą minimalną zgodnie ze scenariuszem GFDL – 0,52 t·ha^{-1}. Wartość minimalna najwyższa była według założeń scenariusza GISS – 1,13 t·ha^{-1}.



Rys. 4. Rozkłady prawdopodobieństwa plonów obserwowanych i symulowanych odmiany Parys w Marianowie
Fig. 4. Probability distributions of observed and simulated yields of Juno cultivar in Marianowo

W przyszłości, prawdopodobieństwo otrzymania plonów niższych od 2,0 t·ha^{-1} będzie mniejsze niż w latach doświadczeń COBORU, zmniejszy się ono z 48% do 17-21% w zależności od przyjętego scenariusza (tab. 19, rys. 4). Natomiast prawdopodobieństwo wystąpienia plonów niższych od 1,5 t·ha^{-1} zmniejszy się z 23% (plony rzeczywiste) do zaledwie 3 (GFDL) – 5% (HadCM3). Około dwukrotnie zwiększy się natomiast prawdopodobieństwo uzyskania plonów ≥ 2,5 i 3,0 t·ha^{-1}, a plony jeszcze większe (≥ 3,5 t·ha^{-1}) będą występować z podobnym jak dotychczas prawdopodobieństwem wynoszącym mniej niż 2%.

Tabela 19. Dodatkowe informacje o prawdopodobieństwach osiągnięcia odpowiedniej wysokości plonu – odmiana Parys w Marianowie
Table 19. Additional information about the probability of achieving an appropriate amount of yield – Parys cultivar in Marianowo

Szacowane parametry Estimated parameters	Plony aktualne Actual yields	Plony dla $2xCO_2$ – Yields for $2xCO_2$		
		GISS	HadCM3	GFDL
1. Parametry rozkładu Weibulla Weibull distribution parameters				
kształt α	3,302	5,347	5,094	6,006
skala β	2,267	2,682	2,669	2,655
2. Kwantyle rozkładu Distribution quantiles				
$P\ (y < 1{,}0\ t \cdot ha^{-1})$	0,065	0,005	0,007	0,003
$P\ (y < 1{,}5\ t \cdot ha^{-1})$	0,226	0,044	0,052	0,032
$P\ (y < 2{,}0\ t \cdot ha^{-1})$	0,484	0,188	0,205	0,167
$P\ (y > 2{,}5\ t \cdot ha^{-1})$	0,251	0,503	0,488	0,498
$P\ (y > 3{,}0\ t \cdot ha^{-1})$	0,080	0,162	0,163	0,125
$P\ (y > 3{,}5\ t \cdot ha^{-1})$	0,015	0,016	0,019	0,005
3. Wartości krytyczne Critical values				
$P\ (y < y_0) = 0{,}01$	0,563	1,135	1,081	1,234
$P\ (y < y_0) = 0{,}05$	0,922	1,539	1,490	1,619
$P\ (y > y_0) = 0{,}05$	3,161	3,293	3,310	3,187
$P\ (y > y_0) = 0{,}01$	3,600	3,569	3,602	3,424
4. Granice i prawdopodobieństwo tolerancji Tolerance limits and probability				
$P\ (\bar{y} - s < y < \bar{y} + s)$	0,703	0,676	0,665	0,712
$P\ (\bar{y} - 2s < y < \bar{y} + 2s)$	0,973	0,956	0,951	0,968
$P\ (\bar{y} - 3s < y < \bar{y} + 3s)$	0,99(9)	0,997	0,997	0,998

6. DYSKUSJA

Określenie wpływu i siły oddziaływania warunków termiczno-wilgotnościowych na wzrost i plonowanie roślin jest zagadnieniem niezwykle ważnym dla rolnictwa (Bieniaszewski i in. 2003b). Przebieg czynników termicznych oraz ilość i rozkład opadów wyraźnie determinują wysokość oraz jakość uzyskiwanego plonu. Łubin, mimo dużego zapotrzebowania na wodę w związku z dużą powierzchnią transpiracyjną, wynikającą z obfitego ulistnienia, w znacznej mierze zaspokaja swoje potrzeby wodne dzięki głębokiemu systemowi korzeniowemu (Bieniaszewski i in. 2003a, Rojek 1989). Jednak w jego rozwoju, podobnie jak u innych roślin strączkowych, można wyróżnić okresy szczególnej wrażliwości na niedobory wody. Krytycznymi pod względem potrzeb wodnych łubinu są okresy: kiełkowania (Januszewicz 1993, 1997, Januszewicz i Suchowilska 2003a, Jasińska i Kotecki 1993, 2003), zawiązywania pąków, kwitnienia (Januszewicz i Suchowilska 2003b) i formowania pierwszych strąków, kiedy zarówno niedobór wody, jak i jej nadmiar może być niekorzystnym zjawiskiem (Bieniaszewski i in. 2000, Kotecki 1990, Szwejkowski i Bieniaszewski 2001). Krześlak i Sadowski (1997b) wykazali, że warunki wilgotnościowe miały decydujący wpływ na plonowanie odmian łubinu żółtego i wąskolistnego. Według autorów plon nasion był niższy, gdy w okresie kwitnienia i zawiązywania strąków wystąpiły niedobory opadów, natomiast w latach wilgotnych plony łubinu były wysokie.

W badaniach własnych sumy opadów atmosferycznych w poszczególnych okresach rozwojowych wpływały na plon łubinu w sposób zróżnicowany, zależnie od odmiany i miejscowości. Istotne zależności wystąpiły głównie w Marianowie, gdzie plon obu odmian (Juno i Parys) kształtował się pod wpływem opadów. Wyższe ich sumy w okresie od wschodów do początku kwitnienia powodowały tam spadek plonu łubinu żółtego.

Podobnie było w Uhninie w przypadku odmiany Juno, ale tylko wówczas, gdy analizę prowadzono na bazie podstawowego pakietu zmiennych (SR, T*sr*, P). Natomiast odmiana Parys reagowała spadkiem plonu, gdy opady w okresie kwitnienia odbiegały od normy (były zbyt niskie lub nadmierne – funkcja kwadratowa).

Opinię tę potwierdzają badania Dzieni i Sosnowskiego (1988), którzy podają, że najniższe plony łubinu żółtego i wąskolistnego zanotowano w roku z najwyższą sumą opadów w czerwcu i lipcu, co skutkowało nierównomiernym dojrzewaniem. Najbardziej wrażliwym na niekorzystne warunki meteorologiczne podczas dojrzewania okazał się łubin żółty, który w roku wilgotnym wytworzył najbardziej obfitą masę wegetatywną.

Odpowiednia ilość opadów w czasie od końca kwitnienia do dojrzałości technicznej sprawia, że łubin zawiązuje więcej strąków, zwłaszcza na pędach bocznych, a wytworzone strąki w mniejszym stopniu ulegają zasychaniu i opadaniu.

Jasińska i Kotecki (1993, 2003) oraz Januszewicz i Suchowilska (2003b) podają, że susza występująca podczas kwitnienia i wykształcania strąków jest przyczyną zasychania i opadania kwiatów, a w konsekwencji wytworzenia mniejszej ilości strąków, które również ulegają zasychaniu i opadaniu. Ponadto wykształcone nasiona są słabiej wypełnione, co w efekcie obniża plonowanie.

Decydujący, korzystny wpływ opadów atmosferycznych w okresie kwitnienia lub wydłużonego okresu kwitnienia (od 20 dni przed kwitnieniem do 10 dni po kwitnienia) na plonowanie niektórych odmian innej rośliny strączkowej – grochu siewnego – stwierdziła Grabowska (2004). Z kolei analizowane przez autorkę i in. (Grabowska i in. 2010a, 2013) odmiany grochu pastewnego reagowały dodatnio na wyższe sumy opadów w okresie od siewu do wschodów.

Z równań regresji otrzymanych przez Bieniaszewskiego i in. (2000), Szwejkowskiego i Bieniaszewskiego (2001) i Szwejkowskiego i in. (2002a,b) wynika, że na plon łubinu żółtego odmian: Amulet, Juno i Radames dodatnio wpływały opady i temperatura w pierwszej dekadzie kwietnia, ujemnie natomiast – opady w drugiej i trzeciej dekadzie tego miesiąca oraz w pierwszej i drugiej dekadzie sierpnia, a także średnia temperatura drugiej dekady sierpnia. Według autorów na plon odmiany Juno, istotny dodatni wpływ wywierała też temperatura ostatniej dekady marca (co jest odpowiednikiem agrofazy siew-wschody).

Jensen (2008) podaje, że wyższe temperatury od początku kwitnienia do zbioru (30°C /16°C – dzień/noc, średnia 25,3°C oraz 20°C/16°C, średnia 18,7°C) w porównaniu do kontroli (średnia temperatura 15,5°C) wpływają na obniżenie plonu łubinu wąskolistnego, a zwiększenie zawartości białka w nasionach, lecz z powodu niższego plonu nasion, plon białka w wyższych temperaturach też jest niższy.

Negatywne oddziaływanie niekorzystnych warunków wilgotnościowych na plonowanie łubinu wykazali Bieniaszewski (2001a,b), Kotecki (1990) i Święcicki (1960). Według Bieniaszewskiego i Szwejkowskiego (2001), zwiększenie wilgotności gleby z 50 do 75% pojemności wodnej spowodowało spadek zdolności kiełkowania łubinu żółtego o 2,8%, ale wyższa wilgotność wpływała na wzrost plonu nasion średnio o 20,3%. W późniejszych badaniach Bieniaszewskiego i in. (2003a) plon nasion łubinu żółtego najniższy był przy wilgotności gleby wynoszącej 30% pojemności wodnej. W warunkach 50% wilgotności gleby plon nasion był wyższy o 64,3%, a 70% poziom wilgotności spowodował dalszy przyrost plonu nasion czterech z sześciu odmian łubinu żółtego. Plon odmiany Juno najwyższy był przy 50% wilgotności, przy 70% pozostał na bardzo zbliżonym po-

ziomie (minimalnie niższy). Zdrowotność roślin była najwyższa przy wilgotności 50% pojemności wodnej. Gałęzewski (2006a,b) także podaje, że plon łubinu żółtego wzrastał wraz ze wzrostem wilgotności gleby do 80% pojemności wodnej.

Wyniki otrzymane w niniejszej pracy wskazują, że w badanych stacjach plonowanie łubinu odmian Juno i Parys, w większym stopniu niż od opadów atmosferycznych, uzależnione było od temperatury powietrza. Szczególnie dominujący był negatywny wpływ temperatury maksymalnej w okresie kwitnienia. Zbyt wysokie jej wartości w tym okresie rozwoju powodują spadek plonu nie tylko łubinu, ale też innych roślin strączkowych. Grabowska i in. (2013) ujawnili niekorzystny wpływ temperatury maksymalnej w okresie kwitnienia na plonowanie pastewnej odmiany grochu siewnego Fidelia w Seroczynie, co pozostaje w zgodzie z badaniami dotyczącymi łubinu przedstawionymi w niniejszej pracy. Istotny wpływ na plonowanie tej odmiany w Seroczynie, a także w Głodowie i Białogardzie miała również suma temperatury minimalnej w czasie od wschodów do początku kwitnienia (Grabowska i in. 2013). W badaniach dotyczących łubinu, zmienna ta korelowała istotnie z plonem odmiany Juno w Głodowie.

W badaniach Grabowskiej i in. (2010c), obejmujących analizę wyników doświadczeń uzyskanych ze stacji Nowa Wieś Ujska (położonej w północno-zachodniej części kraju), na plon łubinu żółtego tych samych odmian (Parys i Juno) również istotny ujemny wpływ miała temperatura maksymalna w okresie kwitnienia, ale na pierwszym miejscu w modelach regresji ze znakiem ujemnym znalazła się temperatura średnia (odmiana Parys) lub minimalna (odmiana Juno) okresu siew-wschody, a na drugim (u odmiany Juno, u Parys do momentu kwitnienia) – suma opadów w czasie od wschodów do początku kwitnienia, których wpływ był dodatni.

W badaniach własnych tylko w przypadku odmiany Juno w Głodowie i Sulejowie (zależność kwadratowa) korelacje między plonem a sumą opadów w drugim okresie rozwojowym były dodatnie, lecz nieistotne. Podobnie korelacje plonu ze średnią temperaturą minimalną i średnią dobową – wszędzie okazały się nieistotne, a zmienna $T_{min}1$ weszła tylko w skład modeli utworzonych dla odmiany Juno w Głodowie. Brak zmiennych $T_{min}1$ i $T_{sr}1$ w modelach dla pozostałych stacji wynikać może z faktu, że we wschodniej Polsce wiosną temperatura jest niższa niż w zachodniej części kraju (Nowa Wieś Ujska), a więc jest ona optymalna dla procesu jaryzacji zachodzącego po siewie łubinu. Wysokość plonu w analizowanych stacjach doświadczalnych determinowały więc inne czynniki pogodowe, co miało odzwierciedlenie w odpowiedniej kolejności zmiennych w utworzonych modelach pogoda-plon.

Oszacowane na potrzeby analiz sumy promieniowania całkowitego odgrywały mniejszą rolę w kształtowaniu plonów łubinu niż temperatura powietrza i opady atmosferyczne, podczas gdy wyraźnie determinowały plonowanie na przykład odmiany Emir łubinu wąskolistnego (Grabowska i in. 2010b) oraz innych roślin strączkowych, np. grochu siewnego (Grabowska 2004) i pastewnego (Grabowska i in. 2010a). W tym przypadku większa ilość promieniowania całkowitego w okresie kwitnienia wpływała korzystnie na plonowanie odmiany Fidelia w Seroczynie; zmienna *SR*3 znalazła się na pierwszym miejscu w modelach regresji utworzonych dla tej odmiany (Grabowska i in. 2013). W badaniach nad łubinem, ujętych w tym opracowaniu, istotne korelacje wystąpiły tylko między promieniowaniem całkowitym w drugim (zestaw powiększony o temperatury ekstremalne) lub trzecim (zestaw podstawowych zmiennych) okresie rozwojowym (od wschodów do końca kwitnienia) a wysokością plonu odmiany Juno w Uhninie i w tym przypadku zmienne *SR*2 i *SR*3 weszły w skład modeli pogoda-plon. Promieniowanie całkowite miało również wpływ na plonowanie odmiany Juno w Głodowie i Marianowie oraz odmiany Parys w Marianowie, gdyż wespół z innymi zmiennymi weszło istotnie w skład równań regresji. Częściej *SR* wchodziło do równań regresji, gdy nie uwzględniano w zestawie zmiennych – temperatury maksymalnej i minimalnej.

W badaniach Koteckiego (1990) przeprowadzonych w latach 1979-1981 i 1983-1987 na podstawie doświadczeń zlokalizowanych w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym Pawłowice, plon nasion łubinu żółtego odmiany Topaz zależał przede wszystkim od temperatury i opadów w okresie od początku kwitnienia do dojrzałości pełnej. Przebieg pogody był powodem małej wierności plonowania, czego dowodem był wysoki współczynnik zmienności (32,2%). Autor potwierdził też wcześniejsze doniesienia, że łubin jest szczególnie wrażliwy na niedobory wody w czasie kiełkowania nasion i wschodów. Szybkość kiełkowania odmiany kształtowała się przede wszystkim pod wpływem temperatury powietrza. Pogoda nie miała natomiast wpływu na długość okresu wschody-początek kwitnienia, lecz ilość opadów wpływała natomiast wyraźnie na długość okresu kwitnienia. Wyższa temperatura powietrza w czasie kiełkowania i kwitnienia skracała długość tych okresów, a wyższe opady od początku kwitnienia do dojrzałości pełnej wydłużały czas trwania ostatniego okresu rozwojowego łubinu, który cechował się najwyższym współczynnikiem zmienności. Długość okresu wegetacji zależała wprost proporcjonalnie od długości okresu generatywnego i kształtowała się pod wyraźnym wpływem temperatury powietrza. Podobnie jak Jensen (2008) i Święcicki (1960), również Kotecki (1990) stwierdził, że mniejsza ilość opadów podczas kwitnienia korzystnie wpływa na zawartość białka w nasionach, ale silnie redukuje plony.

Michalska (1993) wykazała, że na plonowanie bobiku decydujący wpływ miały warunki meteorologiczne w okresie od zawiązywania strąków do dojrzałości technicznej. Czynniki termiczne i solarny w większości okresów rozwojowych oraz w całym okresie wegetacyjnym wykazywały ujemne liniowe zależności z plonem, natomiast czynniki wilgotnościowe – liniowe dodatnie lub krzywoliniowe (wskaźnik opadów), a świadczące o ich umiarkowanym wpływie. Spośród wszystkich rozpatrywanych przez autorkę czynników największy wpływ na wysokość plonu bobiku miały warunki termiczne, a zwłaszcza amplitudy powietrza. Jest to zgodne z wynikami otrzymanymi dla łubinu. Plon badanych odmian łubinu żółtego zależał w większym stopniu od temperatury w poszczególnych okresach rozwojowych niż od opadów atmosferycznych. Najwięcej istotnych korelacji stwierdzono między plonem a średnią temperaturą maksymalną w okresie kwitnienia i były to zależności ujemne. Gdy do zestawu zmiennych niezależnych dołączono temperaturę maksymalną i minimalną, utworzono więcej istotnych modeli o wysokich współczynnikach determinacji. W przypadku sumy opadów atmosferycznych otrzymano więcej istotnych zależności krzywoliniowych niż liniowych, a więc na plon łubinu, podobnie jak bobiku, korzystnie wpływały opady zbliżone do normy.

Warunki termiczno-opadowe decydują również o długości okresu wegetacyjnego łubinu. Wyższe temperatury powodują skracanie okresu wegetacji, a wyższe opady – jego wydłużanie (Szwejkowski i Bieniaszewski 2001).

Wyniki doświadczeń przedstawione w niniejszej pracy potwierdziły tę zależność – przy wysokiej temperaturze i małej ilości opadów następowało skrócenie poszczególnych okresów rozwojowych, zwłaszcza okresu kwitnienia i od końca kwitnienia do dojrzewania nasion, co skutkowało skróceniem całego okresu wegetacji. Okres wegetacyjny (od siewu do dojrzałości technicznej) odmian łubinu żółtego trwał średnio o 10 dni dłużej w porównaniu do odmian łubinu wąskolistnego i jest to zgodne z tym, co podają Jasińska i Kotecki (2003).

Na podstawie zamieszczonych w pracy prognoz plonów można stwierdzić, że w przyszłości, w wyniku zachodzących zmian klimatu, nastąpi wzrost plonowania łubinu żółtego. Prognozowane plony, zgodnie z trzema scenariuszami zmian klimatu (GISS, HadCM3, GFDL), były wyższe niż rzeczywiste, uzyskane w latach doświadczeń (1991-2008) COBORU. Najkorzystniejszy okazał się scenariusz HadCM3, gdyż przy jego założeniu plony odmiany Juno w Marianowie osiągnęły najwyższą wartość. Niższe plony uzyskano przy założeniu, że zrealizuje się scenariusz GFDL, a najniższe gdy przyjęto scenariusz GISS. Symulowane według wszystkich scenariuszy plony dla odmiany Parys w Marianowie były bardzo wyrównane i wyższe od rzeczywistych o około 21%. Przy założeniu scenariuszy

HadCM3 i GFDL średnia wartość prognozowanych plonów była taka sama, a zgodnie z GISS nieznacznie wyższa.

Grabowska (2004) – na podstawie prognozy dokonanej na rok 2030 przy założeniu scenariusza GISS – przewiduje natomiast nieznaczny spadek plonu grochu siewnego odmiany Karat – o 2,8% (0,14 $t \cdot ha^{-1}$) w stosunku do średniego uzyskanego w latach 1983-1997 w stacji Radostowo.

Według Bis i in. (1993) większość zmian związanych z ociepleniem klimatu w Polsce będzie miała charakter korzystny dla produkcji roślinnej i zwierzęcej. Wzrosną plony prawie wszystkich uprawianych roślin, z wyjątkiem ziemniaka. Wykorzystując wyniki modelu GISS CGM, autorzy prognozują, że w warunkach podwojenia CO_2 w atmosferze plony roślin strączkowych na ziarno wzrosną z 1,61 (w 1989 r.) do 2,00 t z ha, a ich powierzchnia uprawy z 371,7 do 450,0 tys. ha. W średnich i wysokich szerokościach geograficznych lekkie ocieplenie może poprawić plony roślin uprawnych dzięki dłuższemu sezonowi wegetacyjnemu i łagodniejszym zimom (Kundzewicz i Kędziora 2010).

Badania przeprowadzone przez Górskiego i in. w 1997 r. (Kozyra i Górski 2008, Kozyra i in. 2009, Demidowicz i in. 1999) wskazały, że w przypadku zrealizowania się scenariusza GISS średnie plony pszenicy i żyta w Polsce niewiele się zmienią w stosunku do plonów uzyskiwanych w latach 1970-1995, natomiast według scenariusza GFDL plony pszenicy i żyta obniżą się o około 10% w stosunku do obecnych. Według obu scenariuszy przewidywany jest wzrost plonów buraka cukrowego o kilka procent, a roślin ciepłolubnych (kukurydza, soja, słonecznik) o kilkadziesiąt procent. Natomiast w przypadku ziemniaka prognozy wskazują na duże obniżki plonów – o około 30% w przypadku realizacji scenariusza GISS i aż o 60%, gdyby zrealizował się scenariusz GFDL. Autorzy: Kozyra i Górski (2008), Kozyra i in. (2009) na podstawie analiz prognoz klimatycznych publikowanych w ostatnich latach wyrażają pogląd, że bardzo realne jest urzeczywistnienie sytuacji zbliżonej do prognozowanej zgodnie ze scenariuszem GISS.

Na obszarze Polski wielkość zmian poszczególnych elementów klimatu będzie zróżnicowana, a w związku z przewagą gleb lekkich silniej reagujących na niedobór opadów, skala oddziaływania tych zmian będzie większa niż w innych krajach Unii Europejskiej (Sadowski 1996). Demidowicz i in. (1999) podają, że spodziewane warunki klimatyczne mogą być zbliżone do panujących obecnie w Dolnej Austrii i na północny Węgier (według scenariusza GISS) lub w południowej Rumunii (GFDL). Niezależnie od scenariusza przyszłego klimatu spodziewane jest znaczne wydłużenie okresu gospodarczego i wegetacyjnego – o 30-40%. Siew oraz żniwa zbóż jarych, kukurydzy oraz roślin strączkowych będą przyspieszone o około 3 tygodnie, co pozostaje w zgodzie z wynikami uzyskanymi

w niniejszej pracy. Produkcja polowa głównych ziemiopłodów może jednak ulec obniżeniu o około 25% w wyniku niekorzystnych stosunków wodnych i w przypadku braku działań dostosowawczych (Demidowicz i in. 1999).

W projekcie PESETA (Iglesias i in. 2009, http://peseta.jrc.ec.europa.eu) wykonano prognozy plonów dla Europy na lata 2071-2100, które różnią się w zależności od przyjętego scenariusza klimatycznego. Prognoza według scenariusza HadCM3/HIRHAM przewiduje tylko nieznaczne zmiany średnich plonów na obszarze Polski. Szacowane średnie plony w centralnej części kraju obniżą się o około 5% w stosunku do lat 1961-1990, a w północnej wzrosną o 5%. W obszarach górskich prognozowany jest natomiast wyraźny wzrost plonów sięgający 30%. Według prognoz z wykorzystaniem scenariusza ECHAM4/RCA3 znaczne spadki plonów spodziewane są na większości obszaru Polski. Na północy kraju, według scenariusza, spadek plonów w porównaniu do aktualnych ma wynieść do 5%, w centralnej części do 10%, a w południowej i południowo-zachodniej Polsce – do 15%. Na terenach górskich podobnie jak w przypadku HadCM3/ HIRHAM prognozowany jest wzrost plonów do 30% (Kozyra, Górski 2008; Kozyra i in. 2009).

Według Sadowskiego i in. (2009) zmiany klimatu mające trwały, wyraźny wpływ na plony rolne w województwie podlaskim wystąpią w latach 70-tych XXI wieku. Do połowy XXI wieku, w wyniku działań adaptacyjnych polegających na dostosowywaniu produkcji do zmieniających się warunków klimatycznych, przeciętne plony nie ulegną znacznym zmianom. Według prognoz opartych na scenariuszach GKSS i ICTP plony większości podstawowych upraw w latach 2071-2099 ulegną zmniejszeniu od około 10-20% (kukurydza) do 40-70% (ziemniaki). Natomiast plonowanie jęczmienia jarego, buraka cukrowego i rzepaku ozimego, przy założeniu scenariusza ICTP, może ulec nieznacznej poprawie. W wyniku wzrostu temperatury, zachwiania bilansu wodnego i wzrostu zmienności warunków wilgotnościowych autorzy przewidują duże prawdopodobieństwo ograniczenia powierzchni uprawy łubinu i seradeli. Uprawa grochu będzie możliwa przede wszystkim w południowej części Podlasia. Można też spodziewać się wprowadzania do uprawy ozimych lub zimujących form bobiku, grochu, ewentualnie łubinu wąskolistnego lub białego.

Wariancje plonów symulowanych przedstawionych w niniejszej pracy odmian łubinu żółtego były generalnie znacznie niższe od rzeczywistych, niezależnie od przyjętego scenariusza. Górski (1996) podaje, że często stwierdzano zmniejszenie wariancji plonów prognozowanych względem rzeczywistych na skutek stosowania klasycznej metody regresji.

Wszelkie prognozy są jednak tylko oceną konstruowaną na podstawie informacji o teraźniejszych i przeszłych warunkach pogodowych, a pogoda panująca w przyszłości może być tylko przybliżana klimatologicznie. Dlatego należy zachować pewien sceptycyzm w związku z możliwością tworzenia długoterminowych prognoz czynników pogodowych potrzebnych do prognozowania plonów (Górski 1996).

7. WNIOSKI

1. We wschodniej Polsce, w wieloleciu 1991-2008, obserwowano dużą zmienność czynników meteorologicznych (promieniowania całkowitego, temperatury powietrza i opadów atmosferycznych) w poszczególnych okresach wzrostu i rozwoju łubinu żółtego (odmiany Juno i Parys), co miało wpływ na terminy siewu i pojawów fenologicznych, długość okresów rozwojowych i wysokość plonowania. Ich oddziaływanie na plon było silnie zróżnicowane, uzależnione od lokalizacji stacji, odmiany, stanu zaawansowania wegetacji i przyjętego zestawu zmiennych objaśniających.

2. Uzyskane modele pogoda-plon, jak większość modeli statystycznych, mają ograniczone zastosowanie do obszaru oraz czasu, dla którego zostały wyznaczone. Wprowadzona procedura *Cross Validation* spowodowała dyskwalifikację większości, a w niektórych przypadkach nawet wszystkich modeli utworzonych dla danej odmiany i stacji.

3. Z przyjętych do badań dwóch zestawów zmiennych objaśniających (*SR*, T_{sr}, *P* oraz *SR*, T_{max}, T_{min}, T_{sr}, *P*) więcej istotnych modeli, o wysokich współczynnikach determinacji, uzyskano, gdy w zespole zmiennych niezależnych znalazły się wartości ekstremalne temperatury.

4. Dominujący, ujemny wpływ na wysokość plonów obu odmian łubinu miały zmienne: temperatura maksymalna w czasie kwitnienia oraz temperatura średnia i suma opadów w czasie od wschodów do początku kwitnienia.

5. Oszacowane na potrzeby analizy pogoda-plon sumy promieniowania całkowitego bardziej oddziaływały na plonowanie odmiany Juno niż Parys; istotne okazały się sumy wyliczone dla okresów wschody – początek kwitnienia i kwitnienia.

6. Najsilniejsze zależności między plonem a czynnikami pogodowymi uzyskano dla stacji Marianowo; współczynniki determinacji R^2_{pred} osiągnęły wartości powyżej 0,70.

7. Zweryfikowane modele pogoda-plon dają dobre oszacowanie plonów i umożliwiają ich prognozowanie od momentu wejścia w skład równań zmiennych niezależnych będących w modelu do końca wegetacji.

8. Plony oszacowane dla warunków podwojenia zawartości CO_2 w atmosferze, według wszystkich analizowanych scenariuszy (GISS, HadCM3, GFDL), były wyższe niż obserwowane w latach doświadczeń, a najlepszym okazał się scenariusz HadCM3. Należy spodziewać się, że zachodzące zmiany klimatu wpłyną korzystnie na plonowanie łubinu.

8. PIŚMIENNICTWO

Abraha M.G., Savage M.J., 2008. Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in crop simulations. Agric. For. Meteorol., 148, 401-416.

Alcamo J., Moreno J.M., Nováky B., Hindi M., Corobov R., Devoy R.J.N., Giannakopoulos C., Martin E., Olesn J.E., Shvidenko A., 2007. Europe. W: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. M.L. Parry O.F. Canziani J.P. Palutikof P.J. van der Linden, C. E. Hanson. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580.

Baier W., 1979. Note on the terminology of crop – weather models. Agric. Meteorol., 20, 137-145.

Barbacki S., 1972. Łubin. PWRiL, Warszawa.

Barczyk R., 1999. Długość okresu wegetacyjnego pszenicy ozimej w rejonie Wrocławia w oparciu o model CERES-Wheat i scenariusze zmian klimatu. Fol. Univ. Agric. Stetin., 202 Agricultura, 79, 23-27.

Barczyk R., Dubicka M., Kuchar L., 1999. Plonowanie pszenicy ozimej w rejonie Wrocławia w latach 2010-2050: Symulacje w oparciu o model plonowania CERES-Wheat oraz scenariusz zmian klimatu GISS. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rol. LXXIV, 367, 303-315.

Bielecka M., Gulewicz K., Kozłowska H., Łatosz A., Starzyk-Tyllo E., Stobiecki M., 1997. Przeciwutleniające i antybakteryjne właściwości ekstraktu nasion łubinu wąskolistnego (*Lupinus angustifolius* L.) odmiany Mirela. W: Łubin we współczesnym rolnictwie. Mat. konf. Łubin-Białko-Ekologia, Olsztyn-Kortowo, 25-27.06.1997, 2, 9-15.

Bieniaszewski T., 2001a. Plonowanie nowych genotypów łubinu żółtego w zależności od techniki siewu i zagęszczenia roślin w warunkach klimatycznych Polski północno-wschodniej. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Roln., 81(426), 11-22.

Bieniaszewski T., 2001b. Niektóre czynniki agrotechniczne warunkujące wzrost, zdrowotność i plonowanie łubinu żółtego. UWM Olsztyn, Rozprawy i Monografie, 51.

Bieniaszewski T., Fordoński G., 1994. Wpływ niektórych czynników agrotechnicznych na plonowanie odmian łubinu żółtego w regionie Polski północnej. Mat. konf. Łubin-Białko-Ekologia, PAN, PTŁ, Poznań, 333-337.

Bieniaszewski T., Fordoński G., Kurowski T., Szwejkowski Z., 2003a. 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 Roln., 495, 95-106.

Bieniaszewski T., Fordoński G., Kurowski T., Szwejkowski Z., 2003b. Wpływ poziomu wilgotności gleby na wzrost i plonowanie tradycyjnych i samokończących form łubinu żółtego. Cz. II. Skład chemiczny nasion. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 495, 107-119.

Bieniaszewski T., Kurowski T. P., Szwejkowski Z., Szukała J., Horoszkiewicz M., Kaszuba M., 2007a. Efekty uprawy tradycyjnych odmian łubinu żółtego w siewach mieszanych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 117-126.

Bieniaszewski T., Kurowski T. P., Szwejkowski Z., Szukała J., Horoszkiewicz M., Kaszuba M., 2007b. Mieszanki samokończących odmian łubinu żółtego i ich wpływ na plonowanie i jakość nasion. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 127-136.

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, Roln., 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].

Bis K., 1993. Przewidywane zmiany klimatyczne i ich ekonomiczne konsekwencje dla rolnictwa polskiego. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Sesja Naukowa, 38(279), I, 187-199.

Bis K., Demidowicz G., Deputat T., Gorski T., Harasim A., Krasowiec S., 1993. Ekonomiczne konsekwencje zmian klimatu w rolnictwie polskim (ocena wstępna). Problemy Agrofizyki, 68.

Błoch Z., 1999. Prognozowanie plonów zbóż metodami adaptacyjnymi. Pam. Puł., Mat. konf., 114, 31-36.

Bristow K.L., Campbell G.S., 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agric. For. Meteorol., 31, 159-166.

Buraczewska L., Pastuszewska B., Smulikowska S., 2010. Wartość paszowa nasion łubinu w żywieniu świń, drobiu i ryb. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 550, 21-31.

Buraczyńska D., Ceglarek F., 2009. Plon i skład chemiczny nasion mieszanek strączkowo-zbożowych. Fragm. Agron., 26(3), 15-24.

Christensen J.H., Carter T.R., Rummukainen M., Amanatids G., 2007a. Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. Clim. Res., 81, 1-6.

Christensen J.H., Christensen O.B., 2007. A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. Clim. Change, 81, 7-30.

Christensen J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W.T., Laprise R., Magaña Rueda V., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A., Whetton P., 2007b. Regional Climate Projections. W: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Christiansen J., 1999. Potential for lupin cultivation in Denmark. W: Lupin in Polish and European Agriculture. Proceedings of the International Conference, Przysiek, 2-3 września 1999, PTŁ Bydgoszcz, 8-11.

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.

Cierniewska A., Górecka D., Kawka A., Gulewicz K., 1996. Skład chemiczny okryw nasiennych Lupinus albus odm. Bac i ich wpływ na właściwości reologiczne ciasta i cechy jakościowe pieczywa. W: Łubin: kierunki badań i perspektywy użytkowe. Mat. konf., PTŁ Poznań, 300-305.

Climate Change 2007, The Fourth Assessment Report(AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
[Online: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1]

COM (2007) 354. *Adapting to climate change in Europe – options for EU action.* Brussels, 29.06.2007
[Online: http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2007/com2007_0354en01.pdf].

COM (2009) 147/4. *Adapting to climate change: Towards a European Framework for Action.* Brussels [Online: http://ec.europa.eu/health/ph_threats/climate/docs/com_2009_147_en.pdf].

Dach J., Niedbała G., Przybył J.,2001. Zastosowanie sieci neuronowych w rolnictwie. Inż. Rol., 1(8), 57-62.

De Jong R., Stewart D.W., 1993. Estimating global solar radiation from common meteorological observations in western Canada. Can. J. Plant Sci., 73, 509-518.

Decyzja 2/CP11. 2005. Five-year programme of work of the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice on impacts, vulnerability and adaptation to climate change [Online: http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/Decision_2-CP11_Impacts.pdf].

Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Krasowicz S., Kuś J., 1999. Prawdopodobne zmiany w produkcji roślinnej w związku ze spodziewanymi zmianami klimatu. W: Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ogólnopolska konferencja naukowa, Łódź, 4-6 listopada 1999, 43-48.

Deputat T., 1999. Konsekwencje zmian klimatu w fenologii wybranych roślin uprawnych. W: Zmiany i zmienność klimatu Polski. Ogólnopolska konferencja naukowa, Łódź, 4-6 listopada 1999, 49-56.

Donatelli M., Campbell G.S., 1998. A simple model to estimate global solar radiation. Proc. ESA Congr., 5th, Nitra, Slovak Republic, 28 June-2 July 1998. The Slovak Agric. Univ., Nitra, Slovak Republic, 133-134.

Dragańska E., 2004. Statistical models describing the relationship between growth and development of winter wheat and weather conditions in north-eastern Poland. Pol. J. Nat. Sci., 16(1) Y, 19-31.

Dragańska E., 2010. Prognoza rozwoju i plonowania kukurydzy uprawianej na ziarno w Polsce w aspekcie wybranego scenariusza zmian klimatu. UWM Olsztyn, Rozprawy i Monografie, 160.

Dragańska E., Kuchar L., Szwejkowski Z., 2004. Zastosowanie testu Cross Validation do weryfikacji modeli regresyjnych pogoda-plon na przykładzie pszenicy ozimej uprawianej w północno-wschodniej Polsce. Acta Sci. Pol., Agricultura, 3(1), 29-36.

Dragańska E., Szwejkowski Z., 2004. Statistical models describing the relationship between crop size of winter wheat and weather conditions in north-eastern Poland. Pol. J. Nat. Sci., 16(1), 33-45.

Dzienia S., Romek B., 1993. Reakcja zbóż na przedplony roślin strączkowych. Rocz. AR Poznań CCXLIII, 139-147.

Dzienia S., Sosnowski A., 1988. Dobór gatunków roślin strączkowych do uprawy na nasiona na glebie kompleksu żytniego słabego. Fragm. Agronom., 2 (18), 29-42.

Dzieżyc J., Nowak L., Panek K., 1987a. Dekadowe wskaźniki potrzeb opadowych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 314, 11-34.

Dzieżyc J., Nowak L., Panek K., 1987b. Średnie regionalne niedobory opadów i potrzeby deszczowania roślin uprawnych na glebach lekkich i średnich. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 314, 35-47.

Eitzinger J., Kubu G. (eds.), 2009. Impact of Climate Change and Adaptation in Agriculture. Extended Abstracts of the International Symosium. University of Natural Ressources and Applied Life Sciences (BOKU),Vienna, June 22-23 2009. BOKU-Met Report 17 [Online: http:// www.boku.ac.at/met/report].

Elizondo D., Hoogenboom G., McClendon R.W., 1994. Development of a neural network to predict daily solar radiation. Agric. For. Meteorol., 71, 115-132.

Faber A., 1996. Modele deterministyczne. IUNG Puławy, R(339), 43-93.

Faber A., 1998. Naukowa i utylitarna przydatność modeli wzrostu i rozwoju roślin. Fragm. Agron., XV, 4(60), 5-12.

Faber A., Czajkowski M., Błoch Z., Podgrodzki J., 1996. Metoda interpolacji promieniowania całkowitego dla potrzeb modelowania wzrostu i rozwoju roślin uprawnych w Polsce, Fragm. Agron., XIII, 2(50), 57-73.

Faligowska A., Szukała J., 2007. Wydajność i jakość paszowa trzech gatunków łubinu uprawianych na kiszonkę. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 229-237.

Faligowska A., Szukała J., 2009. Wpływ terminu zbioru na skład chemiczny i plon zielonki z łubinu białego, żółtego i wąskolistnego. Fragm. Agron., 26(2), 26-32.

Faligowska A., Szukała J., 2012.Wpływ deszczowania i systemów uprawy roli na wigor i wartość siewną nasion łubinu żółtego. Nauka Przyr. Technol., 6, 2, #26.

Fernández E., J., López-Bellido L., Fuentes M., Fernández J., 1996. LUPINMOD: A Simulation Model for the White Lupin Crop. Agricultural Systems, 52, 57-82.

Filipiak K., 2009. Ilościowe metody prognozowania w rolnictwie. Studia i Raporty IUNG - PIB, 14, 9-18.

Filoda C., Horoszkiewicz J., Jańczak C., 2001. Występowanie i szkodliwość antraknozy na łubinie żółtym w różnych warunkach pogodowych 1999 i 2000 roku. Progr. Plant Protection / Post. Ochr. Roślin, 41(1), 278-285.

Fortuniak K., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001. Trendy i okresowości zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku. Przegląd Geof., XLVI, 4, 283-303.

Frencel I., 2001. Zagrożenie łubinów występowaniem antraknozy. Zesz. Nauk AR Wrocław, Roln., 82(427), 175-183.

Frencel I., Lewartowska E., Czerwińska A., 1997a. Antraknoza – potencjalne zagrożenie chorobowe łubinów w Polsce. Progr. Plant Protection / Post. Ochr. Roślin, 37(2), 354-356.

Frencel I., Lewartowska E., Czerwińska A., 1997b. Występowanie antraknozy (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) na łubinach w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 467-470.

Gałęzewski L. 2006a. Reakcje łubinu żółtego w siewie czystym i jego mieszkankach z owsem na wilgotność gleby, Roczniki AR Poznań CCCLXXX, Roln., 66, 55-65.

Gałęzewski L., 2006b. Wpływ wilgotności gleby na plonowanie łubinu żółtego i owsa oraz ich mieszkanek, Roczniki AR Poznań CCCLXXX, Roln. 66, 67-73.

Gawłowska M., Święcicki W., 2007. Uprawa, rynek i wykorzystanie roślin strączkowych w Unii Europejskiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 505-513.

Górski T., 1996. Modele statystyczno-empiryczne. IUNG Puławy, R(339), 17-41.

Górski T., 2002. Współczesne zmiany agroklimatu Polski. Pam. Puł., Mat. konf., 130(1), 241-250.

Górski T., 2004. Stan obecny i perspektywy agrometeorologii. Acta Agrophysica, 3(2), 257-262.

Grabowska K., 2004. Matematyczne modelowanie grochu siewnego w oparciu o czynniki meteorologiczne. UWM Olsztyn, Rozprawy i Monografie, 99.

Grabowska K., Banaszkiewicz B., Dymerska A., 2010b. Weather conditions vs. agrophenology and yielding of Lupinus angustifolius in north-eastern Poland. W: Agrometeorology Research. Red. J. Leśny. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 185(6), 111-122.

Grabowska K., Banaszkiewicz B., Dymerska A., 2010a. Agrofenologia i plonowanie pastewnej formy grochu siewnego w oparciu o czynniki klimatyczne dwóch rejonów Polski północnej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 547, 139-148.

Grabowska K., Dymerska A., Banaszkiewicz B., 2010c. 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.

Grabowska K., Dymerska A., Banaszkiewicz B., Cymes I., 2013. The relationship between yielding of pea (*Pisum sativum* L.) and meteorological factors in northern and eastern Poland. Acta Agrophysica, 20(2), 315-328.

Harasimowicz-Hermann G., 1997. Łubin żółty i seradela perspektywicznymi roślinami w rolnictwie proekologicznym. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 307-311.

Hargreaves G. H., 1981. Responding to tropical climates. In: The 1980–81 Food and Climate Review, The Food and Climate Forum, Aspen Institute for Humanistic Studies, Boulder, Colo, pp. 29-32.

Hargreaves G. H., Samani Z. A., 1982. Estimating potential evapotranspiration. J. Irrig. Drain. Div. 108 (3), 225-230.

Hargreaves G. L., Hargreaves G. H., Riley J. P., 1985. Irrigation water requirement for Senegal River Basin. J. Irrig. Drain. Eng. ASAE, 111, 265-275.

Hayhoe H. N., 1998. Relationship between weather variables in observed and WXGEN generated time series. Agric. For. Meteorol., 90, 203-214.

Hirabayshi Y., Kanae S., Emori S., Oki T., Kimoto M., 2008. Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. Hydrol. Sci. J., 53(4), 754-773.

Horie T., Yajima M., Nakagawa H., 1992. Yield forecasting. Agric. Systems, 40, 211-236.

Horoszkiewicz J., Filoda G., 2001. Choroby grzybowe łubinu żółtego i wąskolistnego. Zesz. Nauk AR we Wrocławiu, Rol., 82(427), 185-194.

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.

Huyghe C., 1991. Winter Growth of Autumn-sown White Lupin (*Lupinus albus* L.) Main Apex Growth Model. Annals of Botany, 67(5), 429-434.

Iglesias A., Garrote L., Quiroga S., Moneo M., 2009. Impacts of climate change in agriculture in Europe. PESETA-Agriculture study. JRC Scientific and Technical Reports, EUR 24107 EN, European Communities Luxembourg
[Online: http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2900].

IPCC 2007. Summary for Policymakers. W: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Januszewicz E.K., 1993. Wpływ wybranych czynników środowiska na wzrost korzeni młodych roślin łubinu żółtego. Fragm. Agron. X, 4(40), 179-180.

Januszewicz E.K., 1997. Wczesna selekcja materiałów hodowlanych łubinu żółtego w kierunku podwyższenia odporności na suszę. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 127-132.

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 Roln., 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 Roln., 495, 39-49.

Jańczak C., 2000. Antraknoza – choroba łubinu dominująca w latach 1998-1999. Jej szkodliwość i próby zwalczania. Progr. Plant Protection / Post. Ochr. Roślin, 40(1), 195-200.

Jańczak C., Filoda G., Horoszkiewicz-Janka J., 2003. Antraknoza łubinu w Polsce w latach 1999-2002, zwalczanie i skuteczność działania środków grzybobójczych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 495, 251-260.

Jasińska Z., Kotecki A., 1993. Rośliny strączkowe. PWN, Warszawa, 9-60.

Jasińska Z., Kotecki A., 2001. Wpływ roślin strączkowych na gromadzenie masy organicznej i składników mineralnych w glebie. Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie. Sesja Naukowa, 76(373), 47-54.

Jasińska Z., Kotecki A., 2003. Rośliny strączkowe. W: Szczegółowa uprawa roślin. Red. Z. Jasińska, A. Kotecki. Tom II, Cz. V. Wyd. AR we Wrocławiu, 7-45.

Jensen 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.

Kędziora A., 2010. Zmiany klimatyczne i ich wpływ na warunki wodne krajobrazu rolniczego. W: Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce. Red. Cz. Koźmiński, B. Michalska, J. Leśny. Uniwersytet Szczeciński Szczecin, Rozpr. i Studia, 773, 103-138.

Kędziora A., Jankowiak J., Bieńkowski J., 2009. Water conditions for plant production in Poland in the light of global climate changes. W: Environmental aspects of climate changes. Ed. Z. Szwejkowski. UWM Olsztyn, 37-56.

Kotecki A., 1990. Wpływ temperatury i opadów na rozwój i plonowanie łubinu żółtego odmiany Topaz. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rol., 52(199), 97-107.

Kotecki A., Grządkowska A., Steinhoff-Wrześniewska A., 1997. Ocena przydatności odmian łubinu wąskolistnego do uprawy w mieszankach ze zbożami. W: Łubin we współczesnym rolnictwie. Mat. konf., Olsztyn-Kortowo 25-27.06.1997, 2, 261-271.

Kotecki A., Kozak M., Malarz W., 2003a. Ocena przydatności odmian łubinu żółtego do współrzędnej uprawy z pszenżytem jarym. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 495, 129-143.

Kotecki A., Kozak M., Malarz W., 2003b. Wpływ współrzędnej uprawy łubinu żółtego z pszenżytem jarym na skład chemiczny i gromadzenie składników mineralnych w nasionach i resztkach pozbiorowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 495, 145-161.

Kotecki A., Kozak M., Wincewicz E., Zawadzki W., 2001. Uprawa łubinu żółtego na nasiona w siewie czystym i współrzędnym z pszenżytem jarym. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rol., 81(426), 73-92.

Kotwica K., Rudnicki F., 2003. Komponowanie mieszanek zbóż jarych z łubinem na glebach lekkich. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 495, 163-170.

Kozyra J., Doroszewski A., Nieróbca A., 2009. Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. Studia i Raporty IUNG - PIB, 14, 243-258.

Kozyra J., Górski T., 2008. Wpływ zmian klimatycznych na rolnictwo w Polsce. W: Zmiany klimatu a rolnictwo i obszary wiejskie. FDPA Warszawa, 35-40.

Kozyra J., Nieróbca A., Mizak K., Pudełko R., Borzęcka-Walker M., Faber A., Doroszewski A., 2010. Zmiana klimatu – nowe wyzwania dla rolnictwa. Studia i Raporty IUNG - PIB, 19, 133-144.

Koźmiński Cz., Michalska B., 2010. Niekorzystne zjawiska atmosferyczne w Polsce. Straty w rolnictwie. W: Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce. Red. Cz. Koźmiński, B. Michalska, J. Leśny. Uniwersytet Szczeciński Szczecin, Rozpr. i Studia, 773, 161-174.

Koźmiński Cz., Michalska B., Leśny J. (red.), 2010. Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce. Rozpr. i Studia 773, Uniwersytet Szczeciński Szczecin, ss. 174.

Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001. Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. Prz. Geof., XLVI, 1-2, 281-90.

Krasowicz S., 2009. Niematematyczne metody prognozowania w rolnictwie. Studia i Raporty IUNG - PIB, 14, 19-26.

Krasowicz S., Filipiak K., 1996. Ekonometryczne metody oceny trendów czynników produkcji i plonów. IUNG Puławy, R 339, 119-144.

Krześlak S., Sadowski T., 1997a. Plonowanie i wartość przedplonowa łubinu żółtego. W: Łubin we współczesnym rolnictwie. Mat. konf. Łubin-Białko-Ekologia, Olsztyn-Kortowo 25-27.06.1997, 1, 179-184.

Krześlak S., Sadowski T., 1997b. Plonowanie łubinu żółtego, łubinu wąskolistnego i grochu pastewnego uprawianych w okolicach Kętrzyna. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 271-275.

Księżak J., 2000. Rola roślin strączkowych w systemie rolnictwa zrównoważonego. Pam. Puł., Mat. konf., 120, 239-245.

Księżak J., 2001. Rośliny strączkowe źródłem białka paszowego w rolnictwie zrównoważonym. Zesz. Nauk. AR im. H. Kołłątaja w Krakowie, 76(373), 55-59.

Księżak J., 2007. Plonowanie mieszanek łubinu wąskolistnego ze zbożami jarymi na różnych typach gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 255-261.

Księżak J., Borowiecki J., 2001. Rośliny strączkowe w rolnictwie ekologicznym. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rol., 81(426), 93-100.

Kuchar L., 1987. Modele Pogoda – plon i metody prognozowania plonów roślin uprawnych. Fragm. Agron. IV, 1(13), 15-30.

Kuchar L., 1993. Przewidywanie sum opadów i średnich temperatur powietrza w aspekcie prognozowania plonów roślin uprawnych. Zesz. Nauk. AR Wrocław, 118, Rozprawa habilitacyjna.

Kuchar L., 1994. Validation test for weather forecasting method using plant phenology and data sets from Poland. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 405, 115-119.

Kuchar L., 1996. Zastosowanie modelu wykładniczo-wielomianowego do prognozowania plonów ziemniaka w gospodarstwie. Fragm. Agron., XIII, 2(50), 74-86.

Kuchar L., 1998. Ocena modelu WGEN generowania dobowych danych meteorologicznych w klimatycznych warunkach Polski. Fragm. Agron., XV, 4(60), 13-24.

Kuchar L., 1999. Generowanie dobowych ciągów danych meteorologicznych dla określonych scenariuszy zmian klimatu. Fol. Univ. Agric. Stetin. 202 Agricultura (79), 133-137.

Kuchar L., 2001. Ocena modeli matematycznych na podstawie testu typu Cross Validation. Przegl. Nauk. Wydz. Inż. Kszt. Środ. SGGW, 21, 165-170.

Kuchar L., 2004. Using WGENK to generate synthetic daily weather data for modelling of agricultural processes. Math. Comp. Simul., 65, 69-75.

Kuchar L., 2005. Zmodyfikowany model WGENK generowania dobowych danych meteorologicznych na potrzeby modelowania agrometeorologicznego. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 5, z. specj. (14), 185-195.

Kuchar L., 2009a. Application of mathematical methods for crop yield estimation under changing climatic conditions. W: Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures. Red. J. Leśny. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 169(1), 52-62.

Kuchar L., 2009b. Validation test of WGENK weather generator for Polish Lowland. W: Environmental aspects of climate changes. Ed. Z. Szwejkowski. UWM Olsztyn, 9-20.

Kuchar L., Bac S., 2001. Ocena parowania potencjalnego w latach 1990-2030 szacowanego według wzoru Turca i scenariusza zmian klimatu GISS na podstawie danych z obserwatorium agro- i hydrometeorologicznego Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Inż. Środ. XII(413), 129-138.

Kuchar L., Hunt L. A., Swanton C. J., 1998. Generowanie dobowych danych meteorologicznych na potrzeby modeli rolniczych. Post. Nauk Rol., 4, 41-49.

Kundzewicz Z.W., Kędziora A., 2010. Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko i gospodarkę (obserwacje i projekcje). Studia i Raporty IUNG - PIB, 19, 115-132.

Kundzewicz Z.W., Kozyra J., 2011. Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. Polish Journal of Agronomy, 7, 68-81.

Kundzewicz Z.W., Szwed M., Radziejewski M., 2006b. Zmiany globalne i ekstremalne zjawiska hydrologiczne: powodzie i susze. W: Długookresowe przemiany krajobrazu Polski w wyniku zmian klimatu i użytkowania ziemi. Red. M. Gutry-Korycka, A. Kędziora, L. Starkel, L. Ryszkowski. Komitet Narodowy IGBP PAN, ZBŚRiL, Poznań, 169-180.

Kurasiak-Popowska D., Szukała J., 2008. Wpływ systemów uprawy roli, dolistnego nawożenia mikroelementami i sposobów zbioru na kształtowanie zdolności kiełkowania i wigoru nasion łubinu żółtego odmiany Parys. Acta Sci. Pol., Agricultura, 7(2), 51-67.

Kurasiak-Popowska D., Szukała J., Mystek A., 2003. Wpływ niektórych czynników agrotechnicznych na wigor nasion łubinu żółtego i wąskolistnego. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 495, 181-190.

Kurowski T.P., Jaźwińska E., 2010. Wpływ inokulacji zarodnikami Colletotrichum lupini (Bondar) Nirenberg, Feiler et Hagedorn na stopień porażenia roślin w okresie wegetacji oraz na występowanie patogena na nasionach czterech gatunków łubinu. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 550, 131-138.

Lam J.C., Wan K.K.W., Yang L., 2008. Solar radiation modeling using ANNs for different climates in China. Energy Convers. Manage., 49(5), 1080-1090.

Lampart-Szczapa E., 1997. Nasiona roślin strączkowych w żywieniu człowieka. Wartość biologiczna i technologiczna. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 61-81.

Lampart-Szczapa E., Kossowska I., Nogala-Kałucka M., Malinowska M., Siger A., 2007. Związki polifenolowe ekstrudowanych preparatów łubinowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 393-397.

Lampart-Szczapa E., Łoza A., 2007. Funkcjonalne składniki nasion łubinu – korzyści i potencjalne zagrożenia. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 387-392.

Lampart-Szczapa E., Obuchowski W., 1997. Produkty zbożowe z dodatkiem łubinu. W: Łubin we współczesnym rolnictwie. Mat. konf., Olsztyn-Kortowo 25-27.06.1997, 2, 191-198.

Lampart-Szczapa E., Siger A., Trojanowska K., Nogala-Kałucka M., Małecka M., Pachołek B., 2003. Chemical composition and antibacterial activities of lupin seeds extracts. Nahrung /Food 47(5), 286-290.

Lehner B., Döll P., Alcamo J., Henrichs T., Kaspar F., 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. Climatic Change, 75, 273-299.

Leśny J., 2009. (red.) Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 169(1).

Leśny J., Serba T., Juszczak R., Olejnik J., 2010. Wyniki projektu ADAGIO – identyfikacja zagrożeń i rozpowszechnianie wiedzy w zakresie wpływu zmian klimatycznych na rolnictwo w Europie. W: Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce. Red. Cz. Koźmiński, B. Michalska, J. Leśny. Uniwersytet Szczeciński, Szczecin, Rozpr. i Studia, 773, 161-174.

Lipa J., 1997a. Globalne ocieplenie Ziemi – konsekwencje dla uprawy roślin. Post. Nauk Roln., 6(270), 3-13.

Liszewska M., 1996. Scenariusze zamian klimatu. W: Wpływ niestacjonarności globalnych procesów geofizycznych na zasoby wodne Polski. Red. Z. Kaczmarek. Politechnika Warszawska, Warszawa, 12, 11-20.

Liszewska M., 2004. Climate reconstruction and projections for Poland and Central Europe. W: Potential Climate Changes and Sustainable Water Management. Red. M. Liszewska. Publs. Inst. Geophs. Pol. Acad. Sc, E-4(377), 19-24.

Liszewska M., Osuch M., 2000. Analysis of results of global climate models for Central Europe and Poland. Geographia Polonica, 73(2), 49-63.

Liszewska M., Osuch M., 2002. Climate changes in Central Europe projected by general circulation models. GeoJournal, 57, 139-147.

Liu X., Mei X., Li Y., Wang Q., Jensen J. R., Zhang Y., Porter J. R., 2009. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China. Agricultural and Forest Meteorology, 149, 1433-1446.

LOO 2011. Lista Opisowa Odmian. Rośliny rolnicze. Strączkowe. COBORU, Słupia Wielka, 85-115.

Łabędzki L., 2004. Problematyka susz w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 4, 1(10), 47-66.

Łabędzki L., 2009. Droughts in Poland – their impacts on agriculture and mitigation measures. W: Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures. Red. J. Leśny. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 169(1), 97-107.

Łykowski B., 1984. Warunki klimatyczne rozwoju i plonowania soi w Polsce. SGGW-AR Warszawa, Rozprawy Naukowe i Monografie, 41.

Macdonald G., Sertorio L. (eds.), 1991. The global climate and ecosystem change. New York, Plenum Press.

Mager P., Kasprowicz T., Farat R., 2009. Change of air temperature and precipitation in Poland in 1966-2006. W: Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures. Red. J. Leśny. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 169(1), 19-38.

Majchrzak B., 1992. Wpływ stresu temperaturowego i wilgotnościowego na kiełkowanie i zdrowotność siewek łubinu żółtego i wąskolistnego. Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis, Agricultura, 1992, 54, 73-85.

Majchrzak B., 1998. Wpływ stresu chłodno-wodnego na kiełkowanie nasion i zdrowotność siewek wybranych roślin strączkowych. UWM Olsztyn, Rozprawy i Monografie, 1.

Mazurkiewicz J., Przybył A., Wudarczak B., Rożek W., 2007. Przydatność nasion łubinów wąskolistnych odmian Sur i Mirela w ekstrudowanych mieszankach paszowych dla karpi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 399-404.

Mądry W., 1995. Ogólna charakterystyka wybranych modeli symulujących wzrost, rozwój i plonowanie roślin. Fragm. Agron., XII, 4(48), 5-17.

McCown R. L., Hammer G. L., Hargreaves J. N. G., Holzworth G. P., Huth N. I., 1995. APSIM: an agricultural production system simulation model for operational research. Math. Comp. Simul., 39, 255-231.

McGuffie K., Henderson-Sellers A., 1997. A climate modelling primer. John Willey & Sons.

Mearns L.O., Rosezweig C., Goldberg R., 1997. Mean and variance change in climatic scenarios. Methods agricultural applications and measures of uncertainty. Climate Change, 35, 367-396.

Meek D. W., 1997. Estimation of maximum possible daily global solar radiation. Agric. For. Meteorol., 87, 223-241.

Metodyka Badania Wartości Gospodarczej (WGO) Roślin Uprawnych. 1. Rośliny Rolnicze. 1.2 Strączkowe. Wydanie I, Słupia Wielka, 1998.

Metodyka przeprowadzania doświadczeń odmianowych z roślinami strączkowymi. Słupia Wielka, 1983.

Meza F., Varas E., 2000. Estimation of mean monthly solar global radiation as a function of temperature. Agric. For. Meteorol., 100, 231-241.

Michaelson J., 1987. Cross-Validation in Statistical Climate Forecast Models. J. of Climate and Appl. Meteorol., 26, 1589-1600.

Michalska B., 1993. Agroklimatyczne warunki uprawy bobiku w Polsce. AR Szczecin, Rozprawy, 155.

Michalska B., 2009. Variability of air temperature in North western Poland. W: Environmental aspects of climate change. Ed. Z. Szwejkowski. UWM Olsztyn, 89-107.

Nakicenovic N., Swart R. (red.), 2000. Emissions Scenarios. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK.

Niedbała G., Przybył J., Sęk T., 2005. Predykcja plonów buraka cukrowego przy wykorzystaniu technik neuronowych. Inż. Rol., 8(68), 285-291.

Pastuszewska B., 1997. Wartość pokarmowa nasion roślin strączkowych w żywieniu zwierząt. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 83-94.

Pastuszewska B., Smulikowska S., 2001. Nasiona łubinu jako pasza zastępująca mączki pochodzenia zwierzęcego w żywieniu świń i drobiu. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Roln., 81(426), 219-228.

Pastuszewska B., Święcicki W., 2003. O roślinach strączkowych w Unii Europejskiej. Post. Nauk Roln., 3, 139-142.

Penning de Varies F. W. T., van Laar H. H., 1982. Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monographs, Centre for Agric. Publ. And Docum., Wageningen.

Pietkiewicz S., Pala J., 2002. Teoria i praktyka prognozowania plonowania roślin uprawnych. W: Fizjologia plonowania roślin. Red. R. J. Górecki, S. Grzesiuk. UWM Olsztyn, 523-551.

Piętka J., 1998. Potrzeby i możliwości modelowania matematycznego wzrostu i plonowania roślin. Post. Nauk Roln., 4, 51-65.

Pinker R.T., Frouin R., Li Z., 1995. A review of satellite methods to derive surface shortwave irradiance. Remote Sens. Environ., 51, 108-124.

Podleśny J., 2003. Produkcja i wykorzystanie nasion roślin strączkowych w Polsce i w krajach Unii Europejskiej. Pam. Puł., Mat. konf., 132, 355-362.

Podleśny J., 2004. Rośliny strączkowe w Polsce i w krajach Unii Europejskiej. Post. Nauk Roln., 4, 83-95.

Podleśny J., 2005. Rośliny strączkowe w Polsce – perspektywy uprawy i wykorzystanie nasion. Acta Agrophysica, 6(1), 213-224.

Podleśny J., 2007. Dynamika gromadzenia suchej masy i plonowanie termoneutralnych i nietermoneutralnych odmian łubinu żółtego w zależności od terminu siewu. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 297-306.

Podleśny J., 2008. Przydatność nowych odmian łubinu żółtego do uprawy na zieloną masę. Pam. Puł., 147, 189-201.

Podleśny J., 2009. Przydatność nowych odmian łubinu wąskolistnego do uprawy na zieloną masę. Fragm. Agron., 26(2), 96-104.

Podleśny J., Podleśna A., 2008. Wpływ temperatury w początkowym okresie wzrostu na plonowanie termo- i nietermoneutralnych odmian łubinu żółtego. Acta Agrophysica, 12(2), 499-508.

Podleśny J., Podleśna A., 2010a. Wpływ temperatury w początkowym okresie wzrostu na plonowanie termo- i nietermoneutralnych odmian łubinu wąskolistnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 550, 97-104.

Podleśny J., Podleśna A., 2010b. Dynamika gromadzenia suchej masy przez termoneutralne i nietermoneutralne odmiany łubinu wąskolistnego w zależności od terminu siewu. Acta Agrophysica, 16(1), 137-147.

Podleśny J., Strobel W., 2006. Wpływ terminu siewu na kształtowanie wielkości plonu nasion i białka zróżnicowanych genotypów łubinu wąskolistnego. Acta Agrophysica, 8(4), 923-933.

Podleśny J., Strobel W., 2007. Wpływ odmiany i terminu siewu na plon oraz skład aminokwasowy białka nasion łubinu żółtego, Acta Agrophysica, 10(1), 175-185.

Podsiadło C., Kaczmarczyk S., 2003. Ocena wpływu deszczowania i nawożenia mineralnego na plonowanie i zachwaszczenie łubinu wąskolistnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 495, 191-200.

Proceedings of Agro2010, the XIth ESA Congress, August 29th-September 3rd 2010, Montpellier, France.

Prusiński J., 1997a. Rola kompleksu glebowego, terminu siewu, rozstawy rzędów i obsady roślin w kształtowaniu plenności łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.). Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 253-259.

Prusiński J., 1997b. Dynamika dojrzewania nasion tradycyjnej i samokończącej odmiany łubinu żółtego. Cz. I. Produkcyjność roślin i gromadzenie suchej masy w nasionach w zależności od terminu i sposobu zbioru. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Roln., 69(308), 11-24.

Prusiński J., 1997c. Dynamika dojrzewania nasion tradycyjnej i samokończącej odmiany łubinu żółtego. Cz. II. Zdolność kiełkowania i wigor nasion w zależności od terminu i sposobu zbioru. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Roln., 69(308), 25-37.

Prusiński J., 2000. Konferencyjny łubin. Post. Nauk Roln., 2(284), 157-159.

Prusiński J., 2009. Łubin – źródłem białka dla Europy. Hod. Roślin i Nasiennictwo, 3, 28-30.

Prusiński J., 2010. Rośliny strączkowe w Unii Europejskiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 550, 11-19.

Prusiński J., Borowska M., 1994. Odporność nasion łubinu na stres chłodnowodny. Mat. I Ogólnopol. Konf. Nauk. Łubin-Białko-Ekologia, 29.XI.1993, PTŁ Poznań, 228-234.

Ratajkiewicz H., 2009. Adaptation strategies of agriculture to climate change in terms of plant protection. W: Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures. Red. J. Leśny. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 169(1), 137-149.

Reddy K.S., Ranjan M., 2003. Solar resource estimation using artificial neural networks and comparison with other correlation models. Energy Convers. Manage., 44, 2519-2530.

Reddy S.J., 1987. The estimation of global solar radiation and evaporation through precipitation – a note. Sol. Energy, 38, 97-104.

Richardson C.W., 1985. Weather simulation for crop management models. Trans. ASAE, 28, 1602-1606.

Richardson C. W., Wright D. A., 1984. WGEN: A Model for generating Daily Weather Variables. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8.

Rivington M., Matthews K. B., Bellocchi G., Buchan K., 2006. Evaluating uncertainty introduced to process-based simulation model estimates by alternative sources of meteorological data. Agric. Syst., 88, 451-471.

Robertson G.W., 1983. Guidelines on crop-weather models. Word Climate Programme WMO, Geneva, No 50.

Rojek M., 1987. Przegląd aktualnie stosowanych modeli pogoda-plon w świetle literatury zagranicznej. Fragm. Agron. IV, 4(16), 49-67.

Rojek S., 1986. Potrzeby wodne roślin motylkowych. Fragm. Agron. III, 2(10), 3-20.

Rojek S., 1989. Potrzeby wodne roślin motylkowatych. W: Potrzeby wodne roślin uprawnych. Red. J. Dzieżyc. PWN Warszawa, 155-158.

Rosenzweig C., 1989. Global Climate Change: Predictions and Observations. Am. J. Agric. Econom., 71, 1265-1271.

Rozbicki T., 2007. Złożone zmienne niezależne w modelach pogoda-plon. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 2(36), 3-10.

Rudnicki F., 1997. Potencjalna przydatność odmian łubinu żółtego i wąskolistnego do mieszanek ze zbożami jarymi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 407-413.

Sadowski M. (red.), 1996. Strategies of the GHG emission reduction and adaptation of the Polish economy to the changed climate. Synthesis. IOŚ Warszawa, ss. 92.

Sadowski M., 2008a. An approach to adaptation to climate change in Poland. Climatic Change, 90, 443-451.

Sadowski M., 2008b. Strategia adaptacji rolnictwa do zmian klimatu. W: Zmiany klimatu a rolnictwo i obszary wiejskie. FDPA Warszawa, 7-14.

Sadowski M., Wyszyński Z., Górski T., Liszewska M., Olecka A., Łoboda T., Pietkiewicz S., 2009. Adaptacja produkcji rolnej w województwie podlaskim do oczekiwanych zmian klimatu. Monografia, IOŚ Warszawa, ss. 92.

Sadowski S., Pańka D., Sowa A., 1996. Wpływ terminu siewu na skład mikroflory korzeni łubinu białego odmiany Wat. W: Łubin: kierunki badań i perspektywy użytkowe. Mat. konf., PTŁ Poznań, 414-424.

Sadowski S., Pańka D., Sowa A., 1997. Wpływ terminu siewu na zdrowotność roślin i skład grzybów zasiedlających korzenie łubinu białego odmiany Wat. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 471-474.

Sadowski T., Krześlak S., Zawiślak K., 2000. Regenerujące znaczenie łubinu żółtego w płodozmianach zbożowych na glebie lekkiej. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 470, 43-47.

Serba T., Leśny J., Juszczak R., Olejnik J., 2009. Wpływ zmian klimatycznych na rolnictwo w Europie, projekt ADAGIO. Acta Agrophysica, 13(2), 487-496.

Simota C., 2009. Quantitative assessment of some adaptation measures to climate changes for arable crops. In: Impact of Climate Change and Adaptation in Agriculture. Extended Abstracts of the International Symposium, Eds. J. Eitzinger, G. Kubu. University of Natural Resources and Ap-

plied Life Sciences (BOKU),Vienna, June 22-23 2009. BOKU-Met Report 17, 22-25 [Online: http://www.boku.ac.at/met/report].

Singh B., Bhat T. K., 2003. Potential Therapeutic Applications of Some Antinutritional Plant Secondary Metabolites. J. Agric. Food Chem., 51, 5579-5597.

Skibniewska K. A., Majewska K., Chwalisz K., Bieniaszewski T., 2003. Zastosowanie dodatku mąki różnych odmian łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.) do wypieku chleba. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 495, 415-423.

Słownik Agro-Bio-Techniczny. Red. W. Niewiadomski. 1992. PTNA Lublin.

Smith J.B., Pitts G.J., 1997. Regional climate change scenarios for vulnerability and adaptation assessments. Climatic Change, 36(1-2), 3-21.

Snarska K., Szczygielski M., 2001. Wpływ warunków atmosferycznych na wystąpienie antraknozy łubinu. Zesz. Nauk AR we Wrocławiu, Roln., 82(427), 233-238.

Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.), 2007. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Soltani A., Latifi N., Nasiri M., 2000. Evaluation of WGEN for generating long term feather data for crop simulations. Agric. For. Meteorol., 102, 1-12.

Soltani A., Meinke H., De Voil P., 2004. Assessing linear interpolation to generate daily radiation and temperature data for use in crop simulations. Eur. J. Agron., 21(2), 133-148.

Sroka W., Sulewski P., Kocielska U., 2008. Ocena przydatności wybranych metod do prognozowania plonów roślin. Rocz. Nauk Rol., Seria G, T. 95, 2, 68-82.

Stańko S., 1994. Prognozowanie w rolnictwie. SGGW Warszawa, ss. 130.

Stawiński S., 2007. Rośliny strączkowe. K-PODR w Minikowie, Oddział w Przysieku, ss. 35.

Strobel W., Pszczółkowski P., 2007. Wpływ wilgotności strąków i czynników pogodowych na pękanie strąków i osypywanie nasion łubinu wąskolistnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 317-323.

Strzetelski J., Niwińska B., Bilik K., Lipiarska E., Osięgłowski S., 1996. Nasiona roślin strączkowych w żywieniu cieląt. W: Łubin: kierunki badań i perspektywy użytkowe. Mat. konf., PTŁ Poznań, 397-405.

Stuczyński T., Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Krasowicz S., Kuś J., 2000. Adaptation scenarios of agriculture in Poland to future climate changes. Env. Monitoring and Assessment 61, 133-144.

Szałajda R., 1997. Produkcyjność mieszanek strączkowych i zbożowo-strączkowych z udziałem owsa. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 446, 401-405.

Szczygielski T., 1993. Plonowanie mieszanek strączkowo-zbożowych. Fragm. Agronom. X, 4(40), 187-188.

Szukała J., 1994. Wpływ czynników agrotechnicznych na plon, skład chemiczny i wartość siewną trzech gatunków łubinu, ze szczególnym uwzględnieniem łubinu białego. Rocz. AR Poznań, Rozpr. Nauk., 245.

Szukała J., 1997. Wpływ terminu i sposobu zbioru na kiełkowanie i wigor nasion łubinu białego. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Roln., 69(308), 83-92.

Szukała J., Musiał R., Mystek A., Kurasiak-Popowska D., Bieniaszewski T., 2003. Plonowanie łubinu żółtego uprawianego w mieszankach odmianowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 495, 211-217.

Szwejkowski Z., Bieniaszewski T., Wiatr K., Fordoński G., 2002b. 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.

Szwejkowski Z., Bieniaszewski T., Fordoński G., 2002a. 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., Dragańska E., Banaszkiewicz B., 2008a. Scenariusze warunków agroklimatycznych okolic Olsztyna w perspektywie spodziewanego globalnego ocieplenia w roku 2050. Acta Agrophysica, 12(2), 543-552.

Szwejkowski Z., Dragańska E., Panfil M., 2009a. Impact of weather conditions on crop production in Poland. W: Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures. Red. J. Leśny. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 169(1), 39-51.

Szwejkowski Z., Dragańska E., Suchecki S., 2008b. Prognoza wpływu spodziewanego globalnego ocieplenia w roku 2050 na plonowanie roślin uprawnych w Polsce północno-wschodniej. Acta Agrophysica, 163, 12(3), 791-800.

Szwejkowski Z., Dragańska E., Suchecki S., 2009b. Scenarios for development of agroclimatic conditions and estimation of the influence of expected global warming in 2050 on the Fields of major crops in Poland. W: Climate change and agriculture in Poland – impacts, mitigation and adaptation measures. Red. J. Leśny. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 169(1), 63-77.

Święcicki W., 1960. Wpływ wilgotności na rozwój i plonowanie łubinu pastewnego. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 20, 185-195.

Święcicki W., Chudy M., Żuk-Gołaszewska K., 2007a. Rośliny strączkowe w projektach badawczych Unii Europejskiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 55-65.

Święcicki W., Szukała J., Mikulski W., Jerzak M., 2007b. Możliwości zastąpienia białka śruty sojowej krajowymi surowcami. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 522, 515-521.

Tymvios F. S., Jacovides C. P., Michaelides S. C., Scouteli C., 2005. Comparative study of Angstrom's and artificial neural network's methodologies in estimating global solar radiation. Solar Energy, 78, 752-762.

Urbaniak M., Chichłowska J., Łyczyński A., Gulewicz K., 1995. Zastosowanie nasion łubinu słodkiego lub odgoryczonego jako zamienników śruty sojowej w żywieniu tuczników. W: Postępy w badaniach łubinu. Mat. konf., PTŁ Poznań, 86-88.

Weiss A., Hays C. J., Hu Q., Easterling W. E., 2001. Incorporating bias error in calculating solar irradiance: implications for crop yield simulations. Agron. J., 93, 1321-1326.

Wilkin J., 2008. Komu bije dzwon? Podsumowanie, wnioski i refleksje dotyczące konferencji: „Zmiany klimatu a rolnictwo i obszary wiejskie. Jak przygotować się do nieuchronnych zmian? Jak zmniejszyć ich negatywny wpływ?". W: Zmiany klimatu a rolnictwo i obszary wiejskie. FDPA Warszawa, 95-101.

WPDO 2008-2010. Wyniki Porejestrowych Doświadczeń Odmianowych. Rośliny strączkowe. COBORU, Słupia Wielka, Nr 67, 73, 82.

Wyniki produkcji roślinnej w 2008-2011r., GUS Warszawa.

Wyszyński Z., Pietkiewicz S., Łoboda T., Sadowski M., 2008. Opracowanie metodycznych podstaw adaptacji produkcji roślinnej w gospodarstwach rolniczych o różnych typach gospodarowania

i skali produkcji do oczekiwanych zmian klimatu. W: Zmiany klimatu a rolnictwo i obszary wiejskie. FDPA Warszawa, 51-62.

Zalewski D., Janiszewska I., Janiszewska K., Kotowicz Z., Wójcik B., Śmiałek E., 2003. Ocena podatności odmian łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.) na Fusarium spp. w zależności od warunków klimatyczno-glebowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 495, 307-314.

Zawora T., 2005. Temperatura powietrza w Polsce w latach 1991-2000 na tle okresu normalnego 1961-1990. Acta Agrophysica, 6(1), 281-287.

Zeliaś A., 1984. Teoria prognozy. PWE Warszawa, ss. 311.

Zmiany klimatu a rolnictwo i obszary wiejskie, 2008. FDPA Warszawa, Raport, ss. 112[Online: ttp://www.fdpa.org.pl/images/stories/pliki/RAPORT_Zmiany_klimatu_a_rolnictwo_i_obszary_wiejskie.pdf]

Żmudzka E., 2004. Tło klimatyczne produkcji rolniczej w Polsce w drugiej połowie XX wieku. Acta Agrophysica, 3(2), 399-408.

Żmudzka E., 2009. Współczesne zmiany klimatu Polski. Acta Agrophysica, 13(2), 555-568.

http://peseta.jrc.ec.europa.eu

http://prudence.dmi.dk

http://www.adagio-eu.org

http://www.agrometeo.pl

http://www.apsim.info/Wiki/Lupin.ashx

http://www.cost734.eu

http://www.fdpa.org.pl

http://www.ipo.iung.pulawy.pl

http://www.susza.iung.pulawy.pl

http://www.zazi.iung.pulawy.pl

9. STRESZCZENIE

W pracy zbadano wpływ czynników pogodowych na plonowanie odmian łubinu żółtego (Juno, Parys) w latach 1991-2008 oraz dokonano prognozy plonów na lata 2050-2060 z wykorzystaniem modeli pogoda-plon przy założeniu trzech scenariuszy zmian klimatu.

Materiał źródłowy stanowiły wyniki doświadczeń odmianowych oraz obserwacje meteorologiczne pochodzące ze stacji doświadczalnych oceny odmian COBORU, zlokalizowanych we wschodniej Polsce (Głodowo, Marianowo, Sulejów, Uhnin). W analizach zastosowano metodę korelacji i regresji wielokrotnej krokowej postępującej. Dopasowanie modeli oceniono na podstawie współczynnika determinacji R^2, poprawionego współczynnika determinacji R^2_{adj}, błędu standardowego estymacji oraz współczynnika determinacji R^2_{pred} wyznaczonego przy użyciu procedury *Cross Validation*. Istotność równań regresji określono za pomocą testu F-Snedecora. Wybrane równania posłużyły do prognozy plonowania łubinu w warunkach podwojenia zawartości CO_2 w atmosferze (lata 2050-2060). W tym celu wygenerowano za pomocą modelu WGENK dla każdej stacji po 100 możliwych rocznych przebiegów dobowych wartości czynników meteorologicznych: promieniowania całkowitego, temperatury maksymalnej, minimalnej oraz opadów, zakładając kolejno trzy scenariusze zmian klimatu przeznaczone dla Europy Środkowej: GISS model E, HadCM3 i GFDL.

Wpływ czynników meteorologicznych na plonowanie łubinu żółtego był zróżnicowany w zależności od lokalizacji stacji i odmiany. Dominujący, ujemny wpływ na wysokość plonów obu odmian łubinu żółtego miała temperatura maksymalna w czasie kwitnienia, temperatura średnia oraz suma opadów w czasie od wschodów do początku kwitnienia. Najsilniejsze zależności między plonem a czynnikami pogodowymi uzyskano dla stacji Marianowo; współczynniki determinacji R^2_{pred} osiągnęły wartości powyżej 0,70.

Badania wykazały, że przewidywane zmiany klimatu wpłyną korzystnie na plonowanie łubinu. Plony symulowane są wyższe od uzyskiwanych w latach 1991-2008, a najbardziej korzystny okazał się scenariusz HadCM3.

Słowa kluczowe: łubin, plon, czynniki meteorologiczne, modele pogoda-plon, scenariusze zmian klimatu

10. SUMMARY

PREDICTING THE YIELDS OF YELLOW LUPIN DEPENDING ON THE SELECTED CLIMATE CHANGE SCENARIOS

The paper presents a study on the impact of weather factors on yielding of yellow lupin (Juno, Parys) in 1991-2008 and yields forecasts for 2050-2060 with the use of weather-yield models and three climate change scenarios.

The source material was the results of cultivar experiments and meteorological observations obtained from the COBORU research stations for cultivar testing and evaluation situated in Eastern Poland (Głodowo, Marianowo, Sulejów, Uhnin). The analyses included the correlation and multiple progressive stepwise regression methods. The fitting of the models was evaluated with the coefficient of determination R^2, adjusted coefficient of determination R^2_{adj}, standard estimation error and coefficient of determination R^2_{pred} calculated with the *Cross Validation* procedure. The significance of regression equations was determined with the Snedecor F-test. The selected equations were used to predict lupine yielding under conditions of double CO_2 content in the atmosphere (years: 2050-2060). To this end, 100 potential annual daily courses were generated with the WGENK model for each station for the following meteorological factors: total radiation, maximum temperature, minimum temperature and precipitation assuming three climate change scenarios for Central Europe: GISS model E, HadCM3 and GFDL.

The impact of meteorological factors on the yielding of yellow lupin was diversified depending on the station location and on the cultivar. Most frequently, the yields of both species were significantly and negatively influenced by the maximum temperature during flowering, to a lesser extent by the average temperature. Yielding of yellow lupin also depended on the amount of rainfall in the period from germination to the beginning of flowering. The estimated sums of total radiation had a great impact on the yield of yellow lupin (especially the Juno variety); also significant were the sums calculated for the periods germination-beginning of flowering and flowering.

The strongest correlation between yield and meteorological factors was obtained for the Marianowo station; coefficients of determination R^2_{pred} of the models created for the majority of the studied varieties (Juno, Parys) exceeded the value of 0.70.

The studies demonstrated that the predicted climatic changes would exert a beneficial impact on lupin yielding. Simulated yields were higher than those observed in 1991-2008, with the scenario HadCM3 being the most beneficial.

Keywords: yellow lupin, yield, meteorological factors, weather-yield models, climate change scenarios

11. ZAŁĄCZNIK

Tabela Z-1. Współczynniki korelacji między plonem odmiany Juno a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych łubinu w stacji doświadczalnej Głodowo
Table Z-1. Coefficients of correlations between the yield of Juno cultivar and independent variables in subsequent periods of lupin development at the Głodowo experimental station

Zmienne Variables	1	2	3	4
SR	–0,135	–0,018	0,237	0,174
SR^2	–0,130	–0,002	0,264	0,160
$\sum T_{max}$	–0,133	0,131	0,309	0,244
$(\sum T_{max})^2$	–0,151	0,129	0,342	0,210
T_{max}	0,094	0,022	**–0,765**	–0,199
T_{max}^2	0,101	0,035	**–0,758**	–0,206
$\sum T_{min}$	–0,019	**0,488**	**0,505**	0,239
$(\sum T_{min})^2$	0,025	0,476	**0,528**	0,194
T_{min}	0,158	0,330	–0,171	–0,126
T_{min}^2	0,221	0,346	–0,193	–0,132
$\sum T_{sr}$	–0,035	0,319	0,363	0,237
$(\sum T_{sr})^2$	–0,045	0,314	0,395	0,200
T_{sr}	0,170	0,140	**–0,656**	–0,209
T_{sr}^2	0,181	0,157	**–0,648**	–0,216
P	0,031	0,046	0,442	–0,125
P^2	0,059	0,008	0,379	–0,274

Tabela Z-2. Współczynniki korelacji między plonem odmiany Juno a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych łubinu w stacji doświadczalnej Marianowo
Table Z-2. Coefficients of correlations between the yield of Juno cultivar and independent variables in subsequent periods of lupin development at the Marianowo experimental station

Zmienne Variables	1	2	3	4
SR	0,207	–0,492	0,433	–0,091
SR^2	0,204	–0,495	0,415	–0,117
$\sum T_{max}$	0,230	–0,500	0,288	–0,020
$(\sum T_{max})^2$	0,220	–0,498	0,209	–0,059
T_{max}	–0,048	0,511	–0,069	–0,368
T_{max}^2	–0,051	0,507	–0,083	–0,371
$\sum T_{min}$	0,060	–0,146	0,110	0,114
$(\sum T_{min})^2$	0,043	–0,103	–0,006	0,057
T_{min}	–0,007	0,380	–0,354	–0,035
T_{min}^2	0,027	0,376	–0,348	–0,003
$\sum T_{sr}$	0,179	–0,544	0,243	–0,011
$(\sum T_{sr})^2$	0,159	–0,545	0,152	–0,053
T_{sr}	–0,079	0,498	–0,271	–0,323
T_{sr}^2	–0,079	0,491	–0,283	–0,323
P	–0,067	**–0,833**	0,017	0,529
P^2	–0,092	**–0,805**	–0,107	0,455

Tabela Z-3. Współczynniki korelacji między plonem odmiany Juno a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych łubinu w stacji doświadczalnej Sulejów
Table Z-3. Coefficients of correlations between the yield of Juno cultivar and independent variables in subsequent periods of lupin development at the Sulejów experimental station

Zmienne Variables	1	2	3	4
SR	–0,333	–0,103	–0,014	0,209
SR^2	–0,338	–0,125	–0,028	0,246
$\sum T_{max}$	–0,341	–0,124	0,009	0,297
$(\sum T_{max})^2$	–0,337	–0,142	–0,019	0,328
T_{max}	0,033	0,049	**–0,592**	0,085
T_{max}^2	0,080	0,042	**–0,582**	0,066
$\sum T_{min}$	0,093	0,198	0,092	0,320
$(\sum T_{min})^2$	0,162	0,204	0,040	0,356
T_{min}	0,158	0,217	–0,129	0,356
T_{min}^2	0,204	0,217	–0,122	0,362
$\sum T_{sr}$	–0,187	–0,011	0,018	0,295
$(\sum T_{sr})^2$	–0,152	–0,022	–0,015	0,330
T_{sr}	0,118	0,142	–0,487	0,110
T_{sr}^2	0,154	0,142	–0,464	0,099
P	0,160	–0,039	0,143	0,231
P^2	0,199	0,007	–0,039	0,277

Tabela Z-4. Współczynniki korelacji między plonem odmiany Juno a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych łubinu w stacji doświadczalnej Uhnin
Table Z-4. Coefficients of correlations between the yield of Juno cultivar and independent variables in subsequent periods of lupin development at the Uhnin experimental station

Zmienne Variables	1	2	3	4
SR	–0,279	**0,500**	**0,611**	0,079
SR^2	–0,305	**0,525**	**0,625**	0,067
$\sum T_{max}$	–0,322	**0,529**	**0,685**	0,239
$(\sum T_{max})^2$	–0,319	**0,537**	**0,697**	0,191
T_{max}	0,209	0,427	–0,369	–0,216
T_{max}^2	0,174	0,423	–0,367	–0,211
$\sum T_{min}$	–0,199	–0,330	**0,576**	0,304
$(\sum T_{min})^2$	–0,148	–0,321	**0,589**	0,218
T_{min}	–0,039	–0,162	0,015	0,130
T_{min}^2	–0,052	–0,161	0,001	0,097
$\sum T_{sr}$	–0,330	0,108	**0,538**	0,205
$(\sum T_{sr})^2$	–0,328	0,110	**0,573**	0,159
T_{sr}	0,116	0,099	**–0,563**	–0,256
T_{sr}^2	0,077	0,103	**–0,555**	–0,261
P	–0,296	**–0,566**	0,471	0,103
P^2	–0,219	**–0,487**	0,445	–0,083

Tabela Z-5. Współczynniki korelacji między plonem odmiany Parys a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych łubinu w stacji doświadczalnej Głodowo
Table Z-5. Coefficients of correlations between the yield of Parys cultivar and independent variables in subsequent periods of lupin development at the Głodowo experimental station

Zmienne Variables	1	2	3	4
SR	0,227	–0,320	0,067	0,009
SR^2	0,215	–0,324	0,073	–0,041
$\sum T_{max}$	0,236	–0,323	0,119	0,061
$(\sum T_{max})^2$	0,185	–0,338	0,109	0,004
T_{max}	–0,317	–0,086	**–0,532**	–0,130
T_{max}^2	–0,320	–0,072	**–0,526**	–0,172
$\sum T_{min}$	–0,049	–0,150	0,293	0,084
$(\sum T_{min})^2$	0,002	–0,182	0,274	0,017
T_{min}	–0,224	0,109	–0,020	–0,049
T_{min}^2	–0,163	0,132	–0,038	–0,085
$\sum T_{sr}$	0,256	–0,288	0,166	0,066
$(\sum T_{sr})^2$	0,217	–0,306	0,157	0,010
T_{sr}	–0,258	–0,039	–0,428	–0,125
T_{sr}^2	–0,272	–0,022	–0,424	–0,169
P	0,332	–0,163	0,346	–0,149
P^2	0,253	–0,190	0,361	–0,217

Tabela Z-6. Współczynniki korelacji między plonem odmiany Parys a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych łubinu w stacji doświadczalnej Marianowo
Table Z-6. Coefficients of correlations between the yield of Parys cultivar and independent variables in subsequent periods of lupin development at the Marianowo experimental station

Zmienne Variables	1	2	3	4
SR	0,400	–0,304	0,397	–0,332
SR^2	0,413	–0,261	0,412	–0,357
$\sum T_{max}$	0,304	–0,282	0,457	–0,242
$(\sum T_{max})^2$	0,310	–0,236	0,451	–0,278
T_{max}	–0,202	0,300	–0,354	0,013
T_{max}^2	–0,196	0,294	–0,368	0,029
$\sum T_{min}$	–0,120	–0,156	0,475	–0,127
$(\sum T_{min})^2$	–0,103	–0,093	0,453	–0,166
T_{min}	–0,217	0,263	–0,112	0,193
T_{min}^2	–0,167	0,278	–0,113	0,211
$\sum T_{sr}$	0,150	–0,283	0,467	–0,233
$(\sum T_{sr})^2$	0,138	–0,241	0,456	–0,266
T_{sr}	–0,267	0,306	–0,354	0,030
T_{sr}^2	–0,250	0,302	–0,368	0,044
P	–0,066	**–0,828**	0,566	0,417
P^2	–0,132	**–0,808**	0,517	0,460

Tabela Z-7. Współczynniki korelacji między plonem odmiany Parys a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych łubinu w stacji doświadczalnej Sulejów
Table Z-7. Coefficients of correlations between the yield of Parys cultivar and independent variables in subsequent periods of lupin development at the Sulejów experimental station

Zmienne Variables	1	2	3	4
SR	0,081	–0,428	–0,153	–0,302
SR^2	0,055	–0,450	–0,142	–0,366
$\sum T_{max}$	0,091	–0,459	0,031	–0,226
$(\sum T_{max})^2$	0,073	–0,464	0,038	–0,305
T_{max}	–0,429	–0,160	**–0,654**	0,058
T_{max}^2	–0,417	–0,166	**–0,656**	0,025
$\sum T_{min}$	0,083	–0,332	0,204	–0,080
$(\sum T_{min})^2$	0,239	–0,321	0,182	–0,188
T_{min}	–0,122	0,025	0,093	**0,572**
T_{min}^2	–0,056	0,028	0,083	**0,564**
$\sum T_{sr}$	0,115	–0,430	0,074	–0,189
$(\sum T_{sr})^2$	0,122	–0,427	0,076	–0,273
T_{sr}	–0,361	–0,089	–0,521	0,156
T_{sr}^2	–0,360	–0,090	–0,511	0,126
P	0,282	–0,215	0,332	–0,228
P^2	0,275	–0,148	0,261	–0,347

Tabela Z-8. Współczynniki korelacji między plonem odmiany Parys a zmiennymi niezależnymi w kolejnych okresach rozwojowych łubinu w stacji doświadczalnej Uhnin
Table Z-8. Coefficients of correlations between the yield of Juno cultivar and independent variables in subsequent periods of lupin development at the Uhnin experimental station

Zmienne Variables	1	2	3	4
SR	0,181	0,196	0,067	–0,080
SR^2	0,190	0,186	0,085	–0,043
$\sum T_{max}$	0,033	0,084	–0,024	0,005
$(\sum T_{max})^2$	0,038	0,081	–0,008	0,022
T_{max}	–0,105	0,009	0,070	–0,112
T_{max}^2	–0,110	0,011	0,066	–0,119
$\sum T_{min}$	–0,379	–0,201	–0,079	0,145
$(\sum T_{min})^2$	–0,317	–0,191	–0,092	0,145
T_{min}	–0,309	–0,257	–0,045	0,214
T_{min}^2	–0,250	–0,246	–0,076	0,197
$\sum T_{sr}$	–0,163	–0,065	–0,080	0,027
$(\sum T_{sr})^2$	–0,158	–0,053	–0,063	0,053
T_{sr}	–0,194	–0,228	–0,076	–0,089
T_{sr}^2	–0,190	–0,211	–0,085	–0,108
P	–0,109	–0,273	–0,471	0,017
P^2	–0,048	–0,270	**–0,626**	–0,043

Adres Autorów:

Aneta Dymerska, Krystyna Grabowska
Katedra Meteorologii i Klimatologii,
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Plac Łódzki 1
10-724 Olsztyn
e-mail: anedy@wp.pl
e-mail: grabkrys@uwm.edu.pl

Address of Authors:

Aneta Dymerska, Krystyna Grabowska
Department of Meteorology and Climatology,
University of Warmia and Mazury
ul. Plac Łódzki 1
10-724 Olsztyn
e-mail: anedy@wp.pl
e-mail: grabkrys@uwm.edu.pl