

PROGNOZA WPŁYWU SPODZIEWANEGO GLOBALNEGO OCIEPLENIA
W ROKU 2050 NA PŁONOWANIE ROŚLIN UPRAWNYCH
W POLSCE PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ

Zbigniew Szwejkowski, Ewa Dragańska, Stanisław Suchecki

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Warmiński-Mazurski
Pl. Łódzki 1, 10-720 Olsztyn
email: szwzbig@uwm.edu.pl

Streszczenie. W pracy dokonano analizy spodziewanego wpływu pogody na plonowanie roślin w Polsce północno-wschodniej, za niespełna 50 lat, na podstawie 300 scenariuszy układów pogodowych możliwych do zaistnienia w roku 2050, wygenerowanych przez model WGENK. Generator ten pracował w oparciu o założenia zmian klimatycznych GISS, model E oraz z uwzględnieniem lokalnych danych klimatycznych z lat 1985-2005. Wrażliwość roślin w analizowanym regionie na warunki pogodowe ustalono na podstawie analizy regresji plonowania wybranych gatunków w wieloleciu 1951-2000. Finalnie uzyskano wyniki, które stanowią wartości różnic w plonowaniu roślin, w każdym z możliwych wariantów pogodowych (obliczone z równań regresji), a umowną średnią z 2050 roku, której wartość nie uwzględnia wpływu pogody tamtego okresu. Pomimo wielu specyficznych możliwych efektów, wskazywanych w niniejszej analizie zaistniała podstawa aby stwierdzić, iż warunki pogodowe Polski północno-wschodniej, pomimo możliwych zmian klimatu w przyszłości, mogą okazać się korzystne jak i niekorzystne dla głównych ziemiopłodów. Skala tych różnic nie oznacza dramatycznych lub szczególnie korzystnych sytuacji gospodarczych.

Słowa kluczowe: zmiany klimatu, plonowanie roślin, Polska północno-wschodnia

WSTĘP

Rolnictwo jest gałęzią gospodarki najbardziej zależną od warunków pogodowych i klimatycznych. Postępujące zmiany klimatu stworzą zatem zupełnie nową sytuację dla rolnictwa, oznaczającą zarówno wielką szansę, jak i nieznane dotąd zagrożenia (Bombik i inni, 1997, Nowicki, Szwejkowski, 2006)). Powód globalnego ocieplania się klimatu – wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze – winien zwiększyć produktywność ekosystemów, a tym samym wysokość plonów roślin uprawnych, (McKeown i in. 2006, Morison 1999, Reddy i Hodges

2000, Southworth i in. 2000). Z drugiej jednak strony za wzrostem temperatur nastąpią zmiany innych elementów pogodowych, często słabo przewidywanych, takich jak na przykład przestrzenny i czasowy rozkład opadów, co nie daje całkowitej pewności, gdy chodzi o efekt końcowy postępującego procesu (Climate Change 2007).

Aby dokonać odpowiednich prognoz klimatycznych na przyszłość, należy zgromadzić materiał ilustrujący dotychczasowy przebieg warunków, bo każda spodziewana zmiana będzie stanowić ewolucję stanu z przeszłości (Wolf i van Oijen 2002, Dragańska i Szwejkowski, 2004, Szwejkowski i inni, 2007). Wychodząc z takiego założenia oraz mając w perspektywie dalsze prace nad wyznaczeniem scenariuszy zmian jakie czekają między innymi polskie rolnictwo w efekcie spodziewanego globalnego ocieplenia, wykonano zadanie oceny agroklimatu Polski północno-wschodniej. Następnie oszacowano zależność plonowania głównych gatunków roślin uprawnych od przebiegu pogody w analizowanym wieloleciu. Finalnie, korzystając z opracowanych modeli pogoda-plon, opartych na obserwacjach regionalnych, ustalono jaki będzie wpływ wielu możliwych wariantów pogody na wydajność tych roślin, w perspektywie roku 2050, przy założeniu głównego kierunku zmian klimatu.

MATERIAL I METODY

W niniejszym opracowaniu wykorzystano wiele źródeł informacji. Dla ustalenia wpływu warunków pogodowych na plonowanie głównych gatunków roślin w Polsce północno-wschodniej (obszar odpowiadający byłemu województwu olsztyńskiemu z lat 1975-1998) wykorzystano dane pochodzące z oficjalnych źródeł jakimi są Roczniki Statystyczne GUS. Dostępność danych dotyczących plonowania spowodowała, iż ograniczono się do ośmiu najważniejszych gatunków: żyta oz., pszenicy oz., jęczmienia j., owsa, kukurydzy na ziarno, rzepaku, ziemniaka i buraka cukrowego. Ze względu na wymóg jednorodności danych meteorologicznych (temperatura powietrza i opady atmosferyczne), zdecydowano się objąć analizą czterdziestolecie 1966-2005. Oceny zależności pomiędzy wydajnością roślin w latach, a przebiegiem warunków pogodowych, dokonano wyliczając równania trendów plonowania poszczególnych gatunków w analizowanym 40-leciu, a następnie wykorzystując wartości resztowe tych równań, jako zmienną zależną w analizie regresji wielokrotnej z wykorzystaniem trybu krokowego, postępującego. Zmienne niezależne w równaniach zestawiono w grupy: temperatury średnie w miesiącach i sumy opadów miesięcznych, (włącznie z okresem zimy u ozimin).

Podstawą do oszacowania, z wykorzystaniem uzyskanych modeli, wpływów pogody w przyszłości, w 2050 roku, na wydajność roślin, były wielowariantowe (300 scenariuszy), dane pogodowe z dnia na dzień, wygenerowane dla okolic Olsztyna na rok 2050, przy pomocy modelu WGENK (Richardson 1985, Kuchar 2004).

WYNIKI I DYSKUSJA

Wyliczone trendy plonowania roślin w latach 1966-2005, głównie postaci liniowej i wielomianowej, które w zamierzeniu miały umożliwić ustalenie wpływu warunków meteorologicznych na ich wysokość okazały się statystycznie istotne u wszystkich gatunków. Najwyższe wartości współczynników R^2 (skorygowane) wystąpiły w przypadku u pszenicy ozimej, jęczmienia jarego i owsa (tab. 1). Może to jednocześnie oznaczać, że u tych gatunków zanotowano, nie tyle największy, jednak trwały, dający się wyrazić zdefiniować, postęp w zakresie technologii produkcji. Najniższą wartość R^2 , wśród statystycznie istotnych, uzyskano w równaniu trendu dla ziemniaka.

Tabela 1. Trendy zmian średnich plonów w Polsce północno-wschodniej w latach 1966-2005
Table 1. Trends of average yields change in north-eastern Poland in the years 1966-2005

Gatunek rośliny uprawnej Species of crop	Postać równania trendu Trend equation	Współczynnik R^2 Coefficient R^2
Żyto ozime – Winter rye	$y = 0,111x + 21,68$	0,332
Pszenica ozima – Winter wheat	$y = 0,162x + 21,76$	0,428
Jęczmień jary – Spring barley	$y = 0,162x + 24,17$	0,411
Owies – Oats	$y = 0,273x + 21,13$	0,671
Kukurydza – Maize	$y = 0,365x + 16,52$	0,222
Rzepak ozimy – Winter rape	$y = 0,124x + 18,71$	0,239
Burak cukrowy – Sugar beet	$y = 0,288x + 311,5$	0,278
Ziemniak – Potato	$y = 0,078 + 161,21$	0,127

Analiza trendów pozwoliła ustalić statystyczny kierunek i skalę zmian plonów pomimo, iż w analizowanym okresie zdarzały się sytuacje, ekstremalne, wyłamujące się z ogólnych tendencji zmian, związane ewidentnie z ekstremalnym przebiegiem warunków pogodowych. We wziętym pod uwagę czterdziestopięcioleciu nastąpiło kilka znaczących przypadków obniżenia plonowania żyta i pszenicy ozimej. Dotyczy to sytuacji ekstremalnie trudnych warunków zimowych, które pojawiły się w latach 1969/1979/1980 i 1978/1979. W wymienionych latach strata plonu żyta, w stosunku do wartości wyznaczonych przez linię trendu wyniosła w regionie od 4 do 6,5 dt·ha⁻¹. W latach 1992, 2000 i 2003 doszło również do dużych obniżek plonów, od około 4 do 7 dt·ha⁻¹ w skali analizowanego obszaru z powodu suszy.

Kukurydza, na terenie Polski północno-wschodniej była uprawiana głównie na kiszonkę, ale jednocześnie poszerzał się areal przeznaczony pod uprawę na ziarno. Postęp w zakresie podaży odmian i postęp techniczny, sprawiły, że trend

plonowania roślin okazał się bardzo jednoznaczny o wysokim stopniu statystycznej istotności. Wydajność tej rośliny była także zdeterminowana pogodą, o czym świadczą, chociażby dane z lat 1996 i 2003.

Podobnie jak w całej Polsce, tak i w jej części północno-wschodniej, rzepak ozimy wykazywał dość wysoką wrażliwość na warunki pogodowe, pomimo charakterystycznej oscylacji plonowania, udało się wykazać istnienie statystycznie istotnego trendu.

Chociaż trend plonowania buraka cukrowego w północno-wschodniej Polsce okazał się istotny, to i w tym przypadku odnotowywane rok po roku wartości bardzo się różniły, zwłaszcza wtedy gdy pojawiały się wiosenne susze, a także wilgotne jesienie.

Zmienność plonowania ziemniaka jest tak duża i jednocześnie zależna od bardzo wielu zmiennych losowych, iż udowodnienie zaistnienia określonych zmian kierunkowych plonowania jest bardzo trudne. Niemniej w analizowanym przypadku analizy statystyczne wykazały jednak istnienie, wprawdzie na bardzo niskim poziomie R^2 , trendu o postaci równania wielomianowego.

Wyliczone trendy można potraktować jako wyznacznik możliwości oddziaływań czynników poza losowych na plonowanie analizowanych gatunków roślin w warunkach regionalnych. Różnice pomiędzy wartościami rzeczywistymi plonowania, odnotowanymi w danym roku, a wartościami wyliczonymi z funkcji trendu wskazują na rolę czynnika losowego, jakim jest układ elementów pogodowych występujący w danym roku. Różnice te posłużyły do obliczeń, metodą regresji wielokrotnej, wpływu pogody na poziom plonowania roślin na badanym obszarze (tab. 2 i 3).

Z zestawionych danych wynika, że w przypadku każdego, analizowanego gatunku, uzyskano istotne równania objaśniające wpływ zmiennych termicznych (średnie miesięczne), na ich wydajność. Najwyższą wartość współczynnika R^2 uzyskano dla jęczmienia jarego i żyta ozimego. W każdym analizowanym przypadku, równania tworzą zmienne niezależne będące temperaturami średnimi różnych miesięcy. W pewnych przypadkach zmienne, których współczynniki cząstkowe korelacji są istotne lub też stanowią dopełnienie optymalnej postaci równania, mogą zaskakiwać, zwłaszcza jeżeli porównamy uzyskane w niniejszej pracy rezultaty z danymi uzyskiwanymi w opracowaniach na bazie danych doświadczalnych. W tym przypadku jednak mamy do czynienia z wartościami ustalonymi na bazie dużej liczby przypadków (50. lecie), co uzyskane wyniki w dużym stopniu uwiarygodnia.

Podobne rezultaty osiągnięto starając się określić wpływ miesięcznych sum opadowych na plony analizowanych roślin uprawnych. Uzyskano tu nawet równania o wyższych wartościach współczynników R^2 . Dotyczy to zwłaszcza owsa i jęczmienia. Liczba zmiennych niezależnych (sumy opadów w miesiącach), tworzących optymalną postać równania wyniosły od 2 do 5.

Tabela 2. Postacie równań regresji: średnie temperatury miesięcy (°C) – plon roślin (dt·ha⁻¹)
Table 2. Equations of regression: mean monthly temperatures (°C) – yield of crops (dt ha⁻¹)

Gatunek rośliny uprawnej Species of crop	Postać równania liniowego Linear equation	Współczynnik Coefficient R ²
Żyto ozime – Winter rye	$y = 33,88 - 1,509 * t_{VI} + 0,1822 t_{II} - 0,104 * t_X - 0,015 t_{XII} + 0,214 t_{III}$	0,434
Pszenica ozima – Winter wheat	$y = 31,311 * - 1,275 * t_{VI} + 0,487 t_{III} - 0,269 t_{VIII}$	0,368
Jęczmień jary – Spring barley	$y = 47,418 * - 2,17 * t_{VI} - 0,2240 t_{VII} + 0,744 t_{III}$	0,471
Owies – Oats	$y = 17,22 * - 0,781 * t_{VI}$	0,281
Kukurydza – Maize	$y = 19,19 - 0,989 t_{VII} + 1,281 * t_V - 0,921 t_{VI} + 1,24 t_X - 0,711 t_{VII}$	0,283
Rzepak ozimy – Winter rape	$y = 19,06 - 1,338 * t_{VI} + 0,784 * t_X + 0,422 t_I$	0,372
Burak cukrowy – Sugar beet	$y = -33,211 + 10,11 * t_V - 6,4 * t_{VII}$	0,192
Ziemniak – Potato	$y = 16,22 - 4,33 t_{VI} - 3,972 * t_{VII}$	0,221

Objaśnienia skrótów – abbreviations: * – zmienna istotna p – 0,05, *significant variable – p<0.05 t_{I...t_{XII}} – średnie temperatury w miesiącach, t_{I...t_{XII}} – mean monthly temperatures.

Tabela 3. Postacie równań regresji: miesięczne sumy opadów (mm) – plon roślin (dt·ha⁻¹)
Table 3. Equations of regression: total monthly precipitation (mm) – yield of crops (dt ha⁻¹)

Gatunek rośliny uprawnej Species of crop	Postać równania liniowego Linear equation	Współczynnik Coefficient R ²
Żyto ozime – Winter rye	$y = 3,421 * + 0,1 * o_X - 0,171 o_{IV}$	0,282
Pszenica ozima – Winter wheat	$y = 6,09 - 0,001 * o_{III} - 0,234 * o_{VII} - 0,001 * o_{IV} + 0,144 o_{XI} + 0,021 o_{VIII}$	0,421
Jęczmień jary – Spring barley	$y = 4,4242 - 0,208 * o_{III} - 0,251 o_{VII} + 0,318 o_{VI} + 0,019 o_{IV}$	0,490
Owies – Oats	$y = -1,422 - 0,077 * o_{III} + 0,062 * o_{VI} + 0,101 o_V$	0,564
Kukurydza – Maize	$y = 4,22 + 0,12 * o_V - 0,183 o_{VI} * + 0,21 * o_{VII}$	0,442
Rzepak ozimy – Winter rape	$y = -8,122 + 0,201 * o_I + 0,018 * o_{VI}$	0,372
Burak cukrowy – Sugar beet	$y = -811,6 * + 1,124 * o_V - 0,814 * o_{IV} + 0,122 o_{VII}$	0,272
Ziemniak – Potato	$y = -12,24 * - 1,33 * o_{VI} + 1,972 * o_V + 0,23 o_{VII}$	0,345

Objaśnienia skrótów – abbreviations: * – zmienna istotna p – 0,05, * significant variable – p<0.05 o_{I...o_{XII}} – sumy opadów w miesiącach, o_{I...o_{XII}} – monthly sums of precipitation.

Traktując uzyskane równania jako wiarygodne, a takimi z pewnością są, według kryteriów i procedur rachunku regresji, ustalono jaki efekt w zakresie plonowania roślin, może się pojawić za nieco ponad 40 lat (w roku 2050), jeżeli sprawdzi się przyjęty scenariusz zmian klimatycznych, oznaczający wzrost średniej temperatury globalnej o blisko 3°C (GISS, model E). Przyszła wartość średniej, po konwersji na warunki lokalne, może objawić się w postaci wielu wariantów przebiegu pogody w roku. Z tych wielu możliwych stanów zrealizuje się tylko jeden, chociaż dziś nie wiadomo, ani w dalszej przyszłości nie będzie wiadomo, który. W związku z powyższym, również przewidywania plonowania roślin w perspektywie roku 2050, mogą opierać się tylko na wielu możliwych układach pogodowych. Pomimo, że użycie modelu WGENK, pozwoliło uzyskać, aż 300 wariantów pogodowych, to zestawień przewidywanych plonów roślin w regionie dokonano z wyników oznaczających wartości ekstremalne, średnie, i medialne i przy uwzględnieniu równań ze zmiennymi termicznymi oraz opadowymi (tab. 4 i 5). Ponieważ zmiennymi niezależnymi w równaniach pogoda – plon były wartości resztowe z równań trendów, to zawarte w tych tabelach liczby oznaczają wyliczoną z tych równań nadwyżkę lub obniżkę plonów w relacji do przeciętnego plonu w roku 2050, jakkolwiek by on nie był. Takie zestawienie wyników jest o tyle racjonalne, iż nie ma żadnych podstaw, aby uwzględniać w wyliczeniach, aktualne trendy zmian plonów w perspektywie roku 2050 i wykorzystać je do wyliczeń wartości bezwzględnych plonowania.

Przeciętna wartość różnicy plonu żyta ozimego, ukształtowana przyszłościowymi warunkami termicznymi, okazała się bliską zera (tab. 4). Oznacza to, że nawet tak drastyczna zmiana klimatu jakiej się spodziewamy, nie musi skutkować dużą odchyłką plonu od poziomu wyznaczonego w przyszłości przez czynniki poza pogodowe. Biorąc pod uwagę najmniej korzystne warunki pogodowe, których postać określa uwzględnione równanie regresji, można się spodziewać spadku plonu o niespełna 0,4 t·ha⁻¹. W tej samej skali można oczekiwać ewentualnego wzrostu plonu – w warunkach termicznych najbardziej korzystnych. W tej sytuacji perspektywa uprawy żyta w regionie nie jest ani mocno zagrożona, ani też nie rysują się dla tej rośliny szczególnie korzystne warunki w przyszłości.

Wykonane wyliczenia wykazały, że obniżenie plonów pszenicy ozimej może być większe, gdyby nowy układ pogodowy w przyszłości okazał się z punktu widzenia termicznego mniej korzystny, niż ewentualne szczególnie sprzyjające warunki pogodowe. Możliwy spadek plonów może bowiem wynieść nieco ponad 0,5 tony ziarna z hektara, zaś przewyższenie tylko 0,3 t. Warunki przeciętne termicznie oznaczają jednak obniżkę plonów 0,115 t·ha⁻¹.

Podobny rozkład ewentualnych korzyści i strat rysuje się dla perspektyw uprawy jęczmienia i owsa. W przypadku tego pierwszego gatunku spodziewane straty mogą wynieść, aż 0,89 t·ha⁻¹, zaś przewyższenia tylko 0,57 t·ha⁻¹. U owsa możliwa strata to 0,26, natomiast korzystne warunki termiczne mogą oznaczać przyrost plonów o 0,08 t·ha⁻¹.

Tabela 4. Spodziewane, wybrane różnice plonów, w stosunku do wartości przeciętnych, uzyskane przy uwzględnieniu 300 możliwych wariantów pogodowych, w roku 2050, w zakresie przebiegu temperatur miesięcznych (w t·ha⁻¹)

Table 4. Selected expected differences of yields, according to mean values, gained in respect to 300 possible variants of weather conditions in 2050, in the range of mean monthly temperatures (in t ha⁻¹)

Gatunek rośliny Species of plant	Wartości w relacji do zbioru wariantów predykcji pogody Values in relation to the prediction set of weather conditions			
	Wartość minimalna Minimal value	Wartość maksymalna Maximal value	Średnia Average	Mediana na
Żyto ozime – Winter rye	-0,37	0,38	-0,00	0,04
Pszenica ozima – Winter wheat	-0,53	0,30	-0,11	-0,10
Jęczmień jary – Spring barley	-0,89	0,57	-0,24	-0,25
Owies – Oats	-0,26	0,08	-0,09	-0,06
Kukurydza – Maize	-0,68	1,51	0,46	0,54
Rzepak ozimy – Winter rape	-0,31	0,59	0,07	-0,01
Burak cukrowy – Sugar beet	-1,77	9,40	2,75	2,83
Ziemniak – Potato	-0,04	3,17	1,60	1,60

Tabela 5. Spodziewane, wybrane różnice plonów, w stosunku do wartości przeciętnych, uzyskane przy uwzględnieniu 300 możliwych wariantów pogodowych, w roku 2050, w zakresie miesięcznych sum opadowych (w t·ha⁻¹)

Table 5. Selected expected differences of yields, according to mean values, gained in respect to 300 possible variants of weather conditions in 2050, in the range of total monthly precipitation (in t ha⁻¹)

Gatunek rośliny Species of plant	Wartości w relacji do zbioru wariantów predykcji pogody Values in relation to the prediction set of weather conditions			
	Wartość minimalna Minimal value	Wartość maksymalna Maximal value	Średnia Average	Mediana na
Żyto ozime – Winter rye	-0,66	0,64	0,09	0,04
Pszenica ozima – Winter wheat	-2,01	1,01	-0,14	-0,02
Jęczmień jary – Spring barley	-2,85	3,46	0,06	0,16
Owies – Oats	-0,29	1,09	0,45	0,46
Kukurydza – Maize	-1,03	4,24	1,39	1,42
Rzepak ozimy – Winter rape	-0,48	0,72	0,15	0,20
Burak cukrowy – Sugar beet	-8,16	12,19	1,41	0,78
Ziemniak – Potato	-17,45	18,76	1,96	1,76

Ciepłolubna kukurydza w regionie Polski północno-wschodniej stanowi nadzieję na poprawę bazy paszowej w sytuacji zmian klimatu. Niestety przyrost temperatury w jednym z możliwych wariantów rozkładu rocznego może oznaczać spadek plonu ziarna aż o $0,68 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. W tym jednak przypadku, wariant szczególnie korzystny może skutkować plonem wyższym od przeciętnego o $1,51 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Średni przyrost plonów, ze wszystkim analizowanych scenariuszy rozkładu pogody w 2050 roku, wynoszący $0,46 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, stanowi, mimo wszystko pozytywną perspektywę uprawy kukurydzy w regionie.

Rzepak ozimy to roślina, która bywa zawodna w latach o ostrym i niekorzystnym przebiegu zim. Okazuje się, że pogoda w warunkach zbliżającego ocieplenia nie zawsze musi oznaczać łagodną zimę. W takich to okolicznościach plony mogą spaść aż o $0,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (w równaniu regresji jedną ze zmiennych jest temperatura zimowa – styczeń i jesienna – październik). Generalnie jednak, globalne ocieplenie skutkować będzie cieplejszymi zimami i stąd w korzystnych warunkach plony rzepaku mogą być wyższe od przeciętnych, aż o $0,59 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Relatywnie niewielkie wpływy na plon roślin okopowych mogą wyrzucić warunki termiczne w przyszłości. W przypadku buraka cukrowego plon korzeni może obniżyć się tylko o $1,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ lub być wyższy o $9,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. W przypadku ziemniaka, obniżenie plonu bulw może być minimalne – $0,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a przyrost także niewielki – $3,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Żyto ozime może okazać się równie niewrażliwe w przyszłości, zarówno na warunki termiczne, jak i opadowe. Zmiana klimatu w regionie może oznaczać, że plony nie okażą się ani drastycznie niższe od przeciętnych ani wyższe (tab. 5).

W przypadku pszenicy ozimej, możliwe scenariusze opadowe, w perspektywie globalnego ocieplenia mogą wiązać się z ograniczeniem plonowania o $2,01 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, zaś to co okaże się korzystnym wariantem rozkładu opadów skutkować będzie zwiększeniem wydajności o $1,01 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Opady atmosferyczne w nowym łańdże klimatycznym mogą w bardzo dużym stopniu decydować o plonowaniu jęczmienia. Przy czym układ najmniej korzystny oznaczać może stratę blisko 3 t ziarna z hektara; warunki optymalne to prawie 3,5 tony ziarna więcej niż przeciętnie. Warunki pogodowe zmienionego klimatu, także w przypadku owsa spowodują, że spodziewane zmniejszenia plonu będą prawdopodobnie mniejsze niż ich przyrosty.

Uprawa kukurydzy i rzepaku ozimego może też w przyszłości przynieść korzyści, gdyż najlepszy wariant pogody spowoduje u tych roślin większe zwyki plonu niż najgorszy – straty.

Rośliny okopowe okazały się bardziej wrażliwe na zmianę warunków opadowych, niż wcześniej opisanych, termicznych. Średnie ze wszystkich uwzględnionych scenariuszy pogodowych wskazują, że można się spodziewać plonów

wyższych niż przeciętne. Negatywne skutki wariantów niekorzystnej opadowo pogody, okażą się stosunkowo niewielkie, zaś pozytywne będą dość znaczące.

Generalnie można stwierdzić, iż perspektywa uprawy głównych ziemiopłodów w warunkach Polski północno-wschodniej, w obliczu przyszłych zmian klimatu oznacza, iż warunki pogodowe mogą się dla nich okazać zarówno korzystne jak i niekorzystne. W żadnym jednak wypadku zmiany te nie będą dramatyczne z punktu widzenia przyszłych układów gospodarczych.

WNIOSKI

1. Na podstawie danych z wielolecia 1966-2005, wykazano wystąpienie statystycznie istotnych trendów plonowania roślin na obszarze Polski północno-wschodniej. Pozwoliło to z wartości resztowych równań ustalić relacje pomiędzy warunkami pogodowymi a wydajnością wybranych gatunków, a następnie wykorzystać uzyskane równania dla ustalenia jak przyszłe zmiany klimatu zaznaczą się w zakresie poziomu ich wydajności.

2. Różnorodność wariantów pogodowych w roku 2050, w postaci wartości średnich temperatur miesięcznych, które mogą zaistnieć w ramach jednego ze scenariuszy zmian klimatu, stwarza możliwość wystąpienia największych różnicowań plonu w przypadku jęczmienia jarego i stąd możliwości wskazania na przyszłe plony tej rośliny są najmniejsze. Analizy wykazały ponadto, że bardziej jednoznaczne, korzystne perspektywy, wyłaniają się dla upraw kukurydzy, buraka cukrowego i ziemniaka.

3. W przypadku analizy uwzględniającej możliwe warianty warunków opadowych, ukształtowanych spodziewanymi zmianami klimatu, stwierdzono, że najbardziej korzystne perspektywy ujawniły się dla uprawy owsa, a najmniej korzystne dla pszenicy ozimej. Przewidywania dla roślin okopowych okazały się najmniej jednoznaczne – wobec wielości wariantów rozkładu opadów w roku, możliwe są zarówno warunki korzystne jak i niekorzystne.

4. W przypadku każdego z gatunków, przyszłe układy pogodowe w warunkach globalnego ocieplenia, mogą przyczynić się do wzrostu ich wydajności jak i spadków plonów. Żaden jednak z wariantów nie spowoduje, jak się wydaje, dramatycznej lub szczególnie korzystnej sytuacji gospodarczej.

PIŚMIENNICTWO

- Bombik A., Jankowska J., Starczewski J., 1997. Wpływ warunków meteorologicznych na plonowanie zbóż w warunkach produkcyjnych. Zesz. Nauk. AR Wrocław, 313, 27-36.
- Climate Change, 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Geneva. http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1_chapter11.pdf

- Dragańska E., Szwejkowski Z., 2004. Statistical models describing the relationship between crop sizes of winter wheat and weather conditions in north-eastern Poland, *Pol. J. Natur. Sc.*, 16(1), 33-45.
- Kuchar L., 2004. Using WGENK to generate synthetic daily weather data for modeling of agriculture processes. *Math. Comp. Simul.*, 65, 69-75.
- McKeown A.W., Warland J, McDonald M.R., 2006. Long-term climate and weather patterns in relation to crop yield: a minireview. *Canadian Journal of Botany*, 84(7), 1031-1037.
- Morison J.I.L., 1996. Climate change and crop growth. *Environmental Management and Health*, 7, 24- 27.
- Nowicki J., Szwejkowski Z., 2006. Changes in the structure of agricultural crops and climatic changes in young glacial area. In: Long term changes of Polish agricultural landscape as a results of climate change and land use. Agricultural University of Poznan, 71-90.
- Reddy K.R., Hodges H.F., 2000. *Climate Change and Global Crop Productivity*: CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, 488.
- Richardson C, W., 1985. Weather simulation for crop management models. *Transaction of the ASAE*, 28, 1602-1606.
- Southworth J., Randolph J.C ., Habeck M, Doering O.C., Pfeifer R.A., Rao D.G, Johnston J.J., 2000. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the Midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82, 1-3, 139-158.
- Szwejkowski Z., Dragańska E., Suchecki S. 2007. *Ocena warunków agroklimatycznych w Polsce w latach 1966-2005*. Wydawn. AR Poznań, Monografie.
- Wolf J., van Oijen M., 2002. Modelling the dependence of European potato yields on changes in climate and CO₂. *Agric. For. Meteorol.*, 112, 3-4, 217-231.

FORECAST OF INFLUENCE OF EXPECTED GLOBAL WARMING IN YEAR 2050 ON CROP YIELDING IN NORTH-EASTERN POLAND

Zbigniew Szwejkowski, Ewa Dragańska, Stanisław Suchecki

Department of Meteorology and Climatology, Warmia and Mazury University
Pl. Łódzki 1, 10-720 Olsztyn
email:szwzbig@uwm.edu.pl

Abstract. The paper presents a study on expected changes of the weather patterns as an effect of global warming in perspective of year 2050 on the crop yielding in north-eastern Poland. The analyses were carried out on the basis of GISS climate scenario, model E, and 300 variants of weather data generated using model WGENK, as well as on local climatic data from the years 1985-2005. Sensitivity of crops to weather conditions was tested by analysis of regression – data (yields and weather conditions) derived from the years 1985- 2005. The final results were differences between yields of crops determined by weather conditions in specified weather variant (calculated using regression equations) and virtual average for the year 2050, when weather conditions were not considered. Thanks to the diversity of results obtained in the analysis, we may prove that weather conditions in the North-Eastern part of Poland, as a result of future climate change, will turn out to be beneficial or unfavourable. The range of the differences in crop yielding will not involve either especially dramatic or beneficial circumstances for economy.

Key words: climate change, crop yielding, north-eastern Poland