



## **POTRZEBY OPADOWE ROŚLIN UPRAWNYCH W ASPEKTCIE WSPÓŁCZESNYCH ZMIAN KLIMATU**

*Agnieszka Ziarnicka-Wojtaszek, Zbigniew Zuśka, Paweł Piskulak*  
*Uniwersytet Rolniczy im H. Kollątaja w Krakowie*

### **PRECIPITATION REQUIREMENTS OF CULTIVATED PLANTS IN THE ASPECT OF CONTEMPORARY CLIMATE CHANGE**

#### *Streszczenie*

Istotnym skutkiem wzrostu temperatury w procesie globalnego ocieplenia jest możliwość zmniejszania się rolniczej efektywności opadów atmosferycznych, jak również zmiana podstawowych składników bilansu wodnego na skutek wzrostu parowania przy braku wyraźnych tendencji opadów atmosferycznych w umiarkowanych szerokościach Europy. Przedmiotem opracowania jest określenie wartości opadów atmosferycznych, które w okresie suszy przy zakładanym scenariuszu wzrostu temperatury powietrza o 1,0, 1,5 i 2,0°C należy uzupełnić w procesie nawadniania aby nie obniżyło się uwilgotnienie wierzchniej warstwy gleby w stosunku do dotychczasowego przeciętnego poziomu. Skonstruowany model regresji krokowej wielokrotnej dla zależności stopnia uwilgotnienia gleby od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych dla okolic Poznania i okresu 1981-2000 wykazał, że dla przeciętnej dekadę okresu wegetacyjnego (IV-X) są to wartości 2,2, 3,6 i 5,2 mm, natomiast dla całego okresu wegetacyjnego odpowiednio 46, 76 i 109 mm.

**Słowa kluczowe:** globalne ocieplenie, okolice Poznania, wilgotność gleby, temperatura, opady

### **Summary**

*An important effect of temperature increase due to global warming is the possibility of decreasing agricultural efficiency of atmospheric precipitation as well as the change in the fundamental components of water balance due to increase in evaporation, which is accompanied by the absence of clear precipitation trends in the temperate European zones. The subject of this article is to determine the values of atmospheric precipitation, which during the drought phase should be supplemented with irrigation values so that it does not lower the moisture of the active soil layer in terms of the recent mean levels. We should also take into account different temperature scenarios (1.0, 1.5 and 2.0°C). The multiple-step regression model that has been calculated taking into account the level of soil moisture, air temperature and precipitation indicates that for a mean 10-day period (decade) during the growing season (April-October) the values obtained are 2.2, 3.6 and 5.2 mm, as well as 46, 76 and 109 mm in the entire growing season respectively. This particular model was devised for the city of Poznan and its vicinities, which is situated in north-western Poland.*

**Key words:** *global warming, Poznan vicinity, soil moisture, temperature, atmospheric precipitation*

### **WSTĘP**

Najnowsza norma klimatyczna (1981-2010) jest jednocześnie okresem intensywnego wzrostu temperatury powietrza następującego w procesie globalnego ocieplenia. O ile w poszczególnych dekadach okresu 1931-1980 globalna temperatura kształtowała się w zakresie wartości 13,9°C, to w kolejnych trzech dekadach wzrastała odpowiednio do 14,1, 14,3 i 14,5°C (WMO Report, 2013). Średnie obszarowe wartości temperatury powietrza na obszarze Polski wzrastały również od 7,7, 7,5 i 7,7°C w kolejnych dekadach okresu 1951-1980 do 8,0 i 8,3°C w dwu ostatnich dekadach XX w. (Żmudzka E., 2004). Średnia roczna wartość temperatury w pierwszej dekadzie XXI w. wzrosła o dalsze 0,3°C i wynosiła 8,6°C (Krużel J., 2014). Pozytywnym efektem wzrostu temperatury powietrza było zwiększenie się czasu trwania meteorologicznego okresu wegetacyjnego i możliwości uprawy roślin ciepłolubnych (Kopeć B., 2013). Poprawa warunków termicznych znalazła odzwierciedlenie w nowych regionalizacjach termicznych klimatu Polski (Ziarnicka-Wojtaszek A., 2009). W drugiej połowie XX wieku roczna suma opadów na obszarze Polski nie wykazała istotnego trendu zmian (Żmudzka E., 2002).

Wobec powyższego faktu istotnym komplementarnym zagadnieniem jest obawa o możliwość zmniejszenia się rolniczej efektywności opadów atmosferycznych, jak również zmian podstawowych składników bilansu wodnego na skutek wzrostu temperatury powietrza i wzrostu parowania przy braku wyraźnych tendencji opadów atmosferycznych w umiarkowanych szerokościach Europy. Istnieje obawa, że wzrost temperatury powietrza przy niezmięnionej rocznej sumie opadów atmosferycznych może być powodem niedostatków wilgoci w glebie, co z kolei wpłynąć może na obniżenie plonów roślin uprawnych.

Celem opracowania było zbadanie, o ile zwiększą się potrzeby opadowe wybranych roślin uprawnych w Polsce przy założonym scenariuszu wzrostu temperatury powietrza o 1,0, 1,5 i 2,0°C i niezmięniionych opadach. Obszar badań obejmował terytorium b. województwa poznańskiego w granicach podziału administracyjnego jaki obowiązywał w latach 1975-1999. Jest to obszar o glebach lekkich o najwyższych rocznych wartościach temperatury powietrza – 8,5°C (Lorenc H., 2005) i najniższych sumach rocznych opadów atmosferycznych w Polsce 505 mm (Ziernicka-Wojtaszek A., 2004).

## **MATERIAŁ I METODA**

Materiałami wykorzystanymi w opracowaniu były średnie dekadowe wartości temperatury powietrza i dekadowe sumy opadów atmosferycznych ze stacji meteorologicznej Poznań oraz wyniki szacunku uwilgotnienia gleby z okolic Poznania w granicach dawnego województwa poznańskiego według podziału administracyjnego z lat 1975-1999. Wilgotność gleby oceniana była w kwietniu, maju i październiku pod zbożami ozimymi, w lipcu i sierpniu pod ziemniakami, w czerwcu i wrześniu w zależności od przebiegu pogody i kształtowania się faz fenologicznych, ocena dotyczyła jednej lub drugiej rośliny uprawnej, lub zmiana badanych roślin następowała w różnych dekadach. Z założenia w zaplanowanych badaniach dano, więc priorytet warunkom meteorologicznym przed zróżnicowaniem wymagań termiczno-wilgotnościowych roślin uprawnych.

Wyniki stanu uwilgotnienia gleby publikowane były sukcesywnie w dekadowym Biuletynie Agrometeorologicznym, a od kwietnia 1999 roku, po zaprzestaniu jego wydawania, w Dekadowym Przeglądzie Agrometeorologicznym. Wilgotność wierzchniej warstwy gleby była oceniona w skali pięciostopniowej jako: kłęskowo niska, niedostateczna, dostateczna, nadmierna i kłęskowo nadmierna. Wyszczególnionym klasom jakościowym przypisano umownie cechy ilościowe, przyjmując dla oceny kłęskowo niskiej wartość 0, niedostatecznej wartość 10, dostatecznej wartość 20, nadmiernej 30 i kłęskowo nadmiernej 40. Opracowanie wykonano dla warunków meteorologicznych kształtowania się suszy, którą umownie można nazwać meteorologiczno-glebową. Wykorzystano tylko te dekady, w których wilgotność oceniana była jako kłęskowo niska,

niedostateczna i zbliżona do dostatecznej. Nie zanotowano w badanym 20-leciu praktycznie przypadków oceny kłęskowo niedostatecznej, notowano przypadki w granicach uwilgotnienia 10-20, a więc od niedostatecznej do dostatecznej. W sytuacji wystąpienia dwu ocen wilgotności na badanym obszarze, obliczano średnią ważoną w zależności od wzajemnych proporcji obszarów.

Dla tak zebranych danych w liczbie 176 przypadków skonstruowano metodą regresji krokowej wielokrotnej model matematyczny zależności stopnia uwilgotnienia gleby od temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych w badanych dekadach od kwietnia do października. Skonstruowany model miał na celu nie tylko uchwycenie zależności uwilgotnienia wierzchniej warstwy gleby od wartości podstawowych elementów meteorologicznych, lecz służył do przeprowadzenia symulacji. Pozwoliła ona ilościowo ocenić, o jaką wartość należy zwiększyć przeciętną dekadową sumę opadów, aby przy podniesieniu się temperatury powietrza w procesie globalnego ocieplenia zapewnić taką samą jak dotychczas wartość uwilgotnienia wierzchniej warstwy gleby poprzez nawadnianie. Założony wzrost temperatury powietrza w bliżej nie oznaczonej perspektywie czasowej wynosił 1,0, 1,5 i 2,0°C.

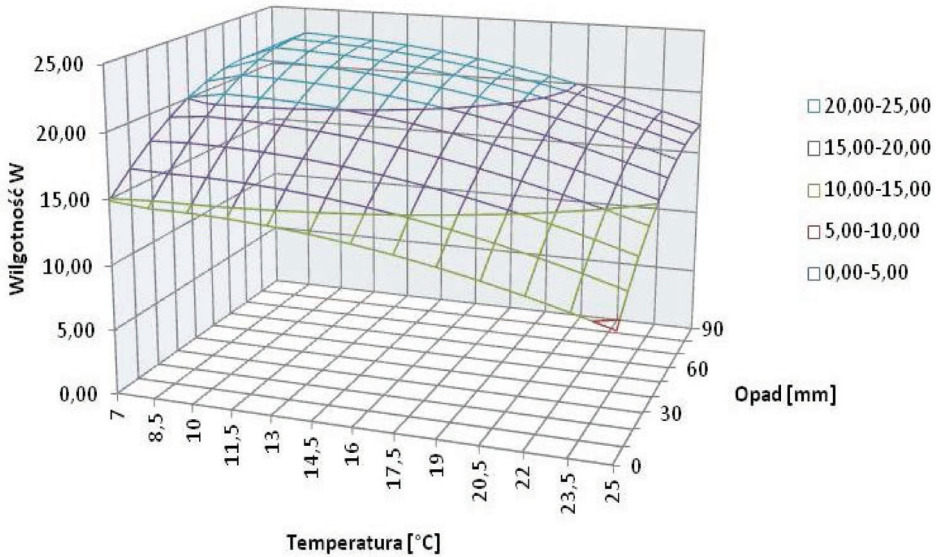
## **WYNIKI BADAŃ I Dyskusja**

Średnia temperatura podczas trwania suszy w badanym okresie wegetacyjnym (IV-X) 1981-2000 wynosiła 15,5°C, przeciętna suma opadów 8,6 mm, przeciętne uwilgotnienie 15,6, a więc plasowało się pomiędzy uwilgotnieniem niedostatecznym i dostatecznym. W wyniku przeprowadzonych obliczeń metodą dołączania zmiennych z wymuszeniem wprowadzania wszystkich zmiennych bez względu na ich istotność, otrzymano ostatecznie równanie dla zależności uwilgotnienia gleby w przedstawionych umownych stopniach od temperatury i opadów w okresie dekadowym w postaci:

$$W = 13,05453 + 0,40582 T + 0,19908 O - 0,02046 T^2 - 0,00117 O^2 - 0,00334 TO$$

gdzie:  $W$  oznacza wilgotność gleby w umownych jednostkach: 0 – kłęskowo niska, 10 – niedostateczna, 20 – dostateczna,  $T$  – średnią temperaturę w danej dekadzie,  $O$  – sumę opadów za daną dekadę. Graficzną ilustrację zależności uwilgotnienia gleby od badanych elementów meteorologicznych ilustruje rys. 1. Istotność dopasowania otrzymanej funkcji regresji do danych doświadczalnych zarejestrowanych w terenie testowano przy pomocy testu Fischera. Dla wartości testu  $F = 8,69$  i  $F_{kr} = 2,27$  otrzymana funkcja regresji spełnia warunek  $F > F_{kr}$  na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Należy, więc odrzucić hipotezę o nieistotności funkcji regresji z ryzykiem błędu określonym poziomem istotności

i wnioskować o istotności funkcji regresji. Współczynnik korelacji wielowymiarowej wynoszący 0,43 jest istotny na poziomie istotności  $\alpha = 0,01$ .



Objaśnienie – wilgotność gleby: klęskowo niska 0, niedostateczna 10, dostateczna 20  
 Legend – soil moisture: extremely low 0, insufficient 10, sufficient 20

**Rysunek 1.** Model zależności uwilgotnienia wierzchniej warstwy gleby w okresie suszy w zależności od temperatury powietrza i opadów atmosferycznych dla okolic Poznania (IV-X 1981-2000)

**Figure 1.** Model of the interdependence of soil moisture in the surficial layer of soil during drought period taking into account air temperature and atmospheric precipitation for the vicinity of Poznan (Apr-Oct, 1981-2000)

Idąc dalej i korzystając z obliczonego równania, zgodnie z założonym celem pracy przedstawiono potrzebne sumy opadów do zapewnienia dotychczasowej wilgotności gleby w umownych stopniach wynoszącej za badany okres 15,6. Jest to wartość, która odpowiada suszy umiarkowanej pomiędzy niedostatecznym a dostatecznym uwilgotnieniem gleby. Otóż dla warunków panujących w okresie 1981-2000 przeciętna dekadowa suma opadów wynosiła 8,6 mm, dla warunków podniesienia się temperatury powietrza o  $1,0^{\circ}\text{C}$  w procesie globalnego ocieplenia wartość ta zwiększa się do 10,8 mm, dla wzrostu temperatury o  $1,5^{\circ}\text{C}$  do 12,2 mm i w warunkach podniesienia się temperatury o  $2,0^{\circ}\text{C}$  do 13,8 mm. Przyrosty dekadowe sum opadów potrzebne do utrzymania wilgotności gleby na dotychczasowym poziomie wynoszą więc dla kolejnych za-

kładanych etapów podniesienia się temperatury powietrza o 1,0, 1,5 i 2,0°C, odpowiednio 2,2, 3,6 i 5,2 mm. W przeliczeniu na wartości średnie miesięczne są to odpowiednio 6,6, 10,8 i 15,6 mm, natomiast w przeliczeniu na cały okres wegetacyjny (IV-X), odpowiednio 46, 76 i 109 mm. Odpowiada to średnim wieloletnim sumom opadów atmosferycznych za okres 1971-2000 kolejno za maj, lipiec i połączone sumy lipca i października. Wyniki są tego rzędu jak otrzymane w podobnym opracowaniu dla 12 reprezentatywnych stacji na obszarze Polski (Ziarnicka A., 2004).

Nie należy interpretować powyższych wyników jako dawek nawodnieniowych, które zlikwidują skutki suszy na badanym obszarze. Nie można również odnosić tych wyników bezpośrednio do okresów krótszych np. dla poszczególnych miesięcy, kiedy to spotykamy się z innymi – niższymi i wyższymi wartościami temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. Dla tych warunków trzeba tworzyć indywidualne modele matematyczne. Opracowanie jest próbą sformalizowania – nadania charakteru ścisłego i wyrażenia za pomocą modelu matematycznego wieloletnich – cennych obserwacji nad uwilgotnieniem wierzchniej warstwy gleby zawartych w Biuletynie Meteorologicznym (dekadowym), który przestał się ukazywać po kilkudziesięciu latach istnienia tuż pod koniec XX w., w nowych realiach ocieplającego się klimatu.

Opracowanie stanowi próbę dalszego naukowego wykorzystania przedstawionych komunikatów o stanie uwilgotnienia gleby. Dotychczas zostały one wykorzystane do opisu przestrzennego zróżnicowania wilgotności gleby (Koźmiński Cz., Michalska B., 1995) czy określenia zależności plonowania wybranych roślin uprawnych od wybranych parametrów tego uwilgotnienia (Koźmiński Cz., 1992, Kalbarczyk R., 2004). Istnieje też możliwość i konieczność rozpatrzenia osobno wymagań termicznych i wilgotnościowych dla zbóż ozimych i roślin okopowych, ale przy dostępnych materiałach nie da się uwzględnić całego okresu wegetacyjnego tych roślin. I wreszcie można się zastanawiać, kiedy zakładane scenariusze wzrostu temperatury mogą nastąpić. Przyjmując tempo wzrostu temperatury wynoszące 0,3°C na dekadę – podniesienia się temperatury w stosunku do środka badanego okresu o 1,0°C należy spodziewać się w roku 2023.

## **WNIOSKI**

Wzajemne powiązania i relacje między badanymi elementami geoko-systemu – wilgotnością wierzchniej warstwy gleby, temperaturą powietrza i sumą opadów atmosferycznych przebiegające w trójwymiarowej przestrzeni wyrazić można przy pomocy przedstawionego w opracowaniu modelu matematycznego. Model ten nie tylko opisuje funkcjonowanie geoko-systemu, ale w perspektywie skutków globalnego ocieplenia dla gospodarki wodnej może być wykorzystany do prognozy potrzeb nawodnieniowych wynikłych z zacho-



dających, prognozowanych czy oczekiwanych zmian składników bilansu wodnego. Zaproponowana metoda powinna być modyfikowana dla konkretnych upraw i krótszych okresów. Procedury matematyczne spełniają tu ważne lecz pomocnicze role, a postacie funkcji regresji należy każdorazowo tak dobierać, aby w możliwie najwyższym stopniu odzwierciedlały w danym przypadku fizyczną naturę zjawiska.

*Wyniki badań zrealizowane w ramach tematu DS 3337/KEKiOP/2015 zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez MNiSW.*

## LITERATURA

- Biuletyn Agrometeorologiczny, 1981-1999, IMGW Warszawa.  
Dekadowy Biuletyn Agrometeorologiczny, 1999-2000, IMGW Warszawa.  
Koźmiński Cz., Michalska B. (1995). *Atlas uwilgotnienia gleby pod roślinami uprawnymi w Polsce*. Akademia Rolnicza w Szczecinie.  
Koźmiński Cz. (1992). *Próba określania i prognozowania plonów ziemniaków w Polsce na podstawie niedostatecznego i nadmiernego uwilgotnienia gleby*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie, 153 (53), 37-51.  
Kalbarczyk R. (2004). *Uwilgotnienie gleby a plonowanie ziemniaka w Polsce*. Acta Agrophysica, 3(3), 509-520.  
Kopeć B. (2013). *Warunki termiczne w Polsce a możliwość uprawy roślin ciepłolubnych*. Praca doktorska, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie.  
Krużel J. (2014). *Ekologiczne i gospodarcze skutki współczesnych zmian termicznych cech klimatu Polski 1971-2010*. Praca magisterska, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie.  
Lorenc H. (red.) (2005). *Atlas klimatu Polski*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.  
WMO Report (2013). The global climate 2001-2010: A decade of climate extremes. July 6.  
Ziernicka A. (2004). *Globalne ocieplenie a efektywność opadów atmosferycznych*. Acta Agrophysica, 3(2), 393-397.  
Ziernicka-Wojtaszek A. (2004). *Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971-2000 i jej skutki agroekologiczne*. Praca doktorska, Katedra Meteorologii i Klimatologii Rolniczej, Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie.  
Ziernicka-Wojtaszek A. (2009). *Weryfikacja rolniczo-klimatycznych regionalizacji Polski w świetle współczesnych zmian klimatu*. Acta Agrophysica, 13 (3), 803-812.  
Żmudzka E. (2002). *O zmienności opadów atmosferycznych na obszarze Polski nizinnej w drugiej połowie XX wieku*. Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, 25, 4, 23-38.  
Żmudzka E. (2004). *Tło klimatyczne produkcji roślinnej w Polsce*. Acta Agrophysica, 3(2), 399-408.

Dr hab. inż. Agnieszka Ziernicka-Wojtaszek  
Mgr inż. Zbigniew Zuśka  
Mgr inż. Paweł Piskulak  
012 6624012  
a.ziernicka-wojtaszek@ur.krakow.pl  
rmzuska@cyf-kr.edu.pl  
pawelpiskulak@tlen.pl  
Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Al. Mickiewicza 24/28  
30-059 Kraków

Wpłynęło: 14.01.2015

Akceptowano do druku: 26.06.2015