

Wpłynęło 27.08.2015 r.  
Zrecenzowano 20.11.2015 r.  
Zaakceptowano 28.01.2016 r.  
A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# OCENA NIEDOBORÓW WODY W UPRAWIE KAPUSTY GŁOWIASTEJ BIAŁEJ NA WYŻYNIE MAŁOPOLSKIEJ

**Leszek ŁABĘDZKI<sup>1)</sup> ACDEF, Agnieszka KOWALCZYK<sup>2)</sup> ABCD,  
Antoni KUŹNIAR<sup>2)</sup> ADEF, Marek KOSTUCH<sup>2)</sup> C**

<sup>1)</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy

<sup>2)</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

## Streszczenie

W pracy przedstawiono ocenę niedoborów wodnych, o różnym prawdopodobieństwie przewyższenia, kapusty głowiastej białej uprawianej na Wyżynie Małopolskiej. Obliczenia przeprowadzono metodą bilansowania zapasu wody użytecznej w warstwie korzeniowej gleby z użyciem modelu CROPBALANCE. W pracy wykorzystano dane meteorologiczne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z lat 1971–2010 – dobowe sumy opadów z 6 stacji (Borusowa, Igołomia, Książ Wielki, Miechów, Olewin oraz Sielec) oraz średnie dekadowe wartości temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej, prędkości wiatru i usłonecznienia ze stacji meteorologicznej Kraków-Balice.

Niedobory wodne oszacowano dla uprawy kapusty na pięciu typach gleb, o zróżnicowanych zdolnościach retencyjnych, występujących na Wyżynie Małopolskiej. Niedobory o prawdopodobieństwie przewyższenia 20% wynosiły w okresie wegetacji od 14 (na czarnoziemach) do 115 mm (na rędzinach). Na glebach Wyżyny Małopolskiej o średnich zdolnościach retencjonowania wody (110–160 mm) niedobory wodne kapusty wystąpiły nawet w latach przeciętnych pod względem ilości opadów (o prawdopodobieństwie 50%). Badania potwierdziły dużą zmienność warunków glebowych i pluwialnych w tym regionie oraz wykazały celowość stosowania modelu CROPBALANCE do oceny niedoborów wodnych upraw warzywniczych.

**Słowa kluczowe:** modelowanie, niedobory wody, retencja wodna gleb, warzywa

---

**Do cytowania For citation:** Łabędzki L., Kowalczyk A., Kuźniar A., Kostuch M. 2016. Ocena niedoborów wody w uprawie kapusty głowiastej białej na Wyżynie Małopolskiej. Woda-Środowisko-  
-Obszary Wiejskie. T. 16. Z. 1 (53) s. 21–38.

## WSTĘP

Produkcja warzyw odgrywa ważną rolę w krajowym rolnictwie i gospodarce narodowej, a liczba warzywniczych gospodarstw indywidualnych w Polsce wynosi 109 988 [GUS 2013].

W roku 2014 powierzchnia upraw warzyw gruntowych w Polsce wynosiła 139 489 ha, a w omawianym regionie (powiaty proszowicki i miechowski) – 9 366 ha. Do warzyw o szczególnym znaczeniu należy zaliczyć kapustę głowiastą białą (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.), której powierzchnia uprawy w Polsce zajmuje ok. 40 000 ha (28,7% warzyw gruntowych) [GUS 2013].

Czynnikiem znacząco zmniejszającym w naszych warunkach klimatycznych wielkość i jakość plonu warzyw jest susza glebowa. KACA i in. [2011] stwierdzili, że w Polsce występuje udokumentowana wyraźna tendencja do wzrostu temperatury i zmniejszania się ilości opadów, co świadczy o widocznych zmianach klimatu. Niedostateczna ilość opadów w sezonie wegetacyjnym w warunkach klimatycznych Polski jest przyczyną często występujących niedoborów wody w glebie, powodujących znaczne zróżnicowanie wielkości zbiorów i jakości plonów w poszczególnych latach [KANISZEWSKI 2005a; b]. Niedobory opadów to różnica między zapotrzebowaniem roślin na wodę a opadami w całym okresie wegetacji albo w wybranych fazach wzrostu i rozwoju [DURAU, ŻARSKI 2013; ŁABĘDZKI i in. 2008; RZEKANOWSKI i in. 2011; ŻARSKI, DUDEK 2009].

Warzywa są bardzo wrażliwe na niedobór wody w glebie. Ich duże zapotrzebowanie na wodę oraz wrażliwość na suszę wynikają z płytkiego systemu korzeniowego oraz wytwarzania dużej masy nadziemnej, zużywającej znaczne ilości wody w procesie transpiracji. Kapusta głowiasta biała ma wprawdzie głębszy system korzeniowy, jednak ze względu na tworzenie dużej masy części nadziemnych, o znacznej powierzchni transpiracyjnej, jest kwalifikowana do warzyw o dużych wymaganiach wodnych.

Doświadczenia nad wpływem nawadniania na plonowanie wybranych gatunków warzyw wykazały, że prawie cała powierzchnia upraw warzywniczych w Polsce powinna być nawadniana. Właściwie nie ma lat, w których nawadnianie nie dałoby pozytywnych efektów [RUMASZ-RUDNICKA i in. 2008]. Wieloletnie doświadczenia z deszczowaniem późnej kapusty białej w rejonie Wrocławia wykazały wyraźną reakcję upraw na nawadnianie, po którym plon towarowy przekraczał  $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , przy czym jej zapotrzebowanie na wodę w okresie wegetacji, w zależności od odmiany, wynosiło około 550 mm [DZIEŻYC 1988]. Podobne doświadczenia przeprowadzone na glebie lekkiej koło Legnicy dowiodły, że dzięki uzupełniającemu deszczowaniu można uzyskać wysokie plony kapusty głowiastej białej, a także zwiększyć produktywność gleby. Nawadnianie kapusty w warunkach produkcyjnych przyczyniało się do następującego wzrostu plonów: kapusty wczesnej – o 25–30%, kapusty średnio późnej – o 25–66%, kapusty włoskiej – o 20–67% [NYC, POKŁADEK 2009].

Celem pracy jest ocena niedoborów opadów, o różnym prawdopodobieństwie przewyższenia, w uprawie kapusty głowiastej białej na Wyżynie Małopolskiej, na różnych typach gleb o zróżnicowanych zdolnościach retencyjnych.

## METODY BADAŃ

Niedobory wody obliczono metodą bilansowania zapasu wody użytecznej  $ZWU$  w warstwie korzeniowej gleby, z użyciem modelu CROPBALANCE [ŁABĘDZKI 2006; ŁABĘDZKI i in. 2008], zastosowanego przez OSTROWSKIEGO i in. [2008] do wyznaczenia niedoborów wodnych roślin uprawnych w Polsce. W pracy wykorzystano dane meteorologiczne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej z lat 1971–2010: dobowe sumy opadów z 6 stacji (Borusowa, Igołomia, Książ Wielki, Miechów, Olewin i Sielec) oraz średnie dekadowe wartości temperatury powietrza, ciśnienia pary wodnej, prędkości wiatru i usłonecznienia ze stacji meteorologicznej Kraków-Balice.

Badania niedoborów wody wykonano dla uprawy kapusty na pięciu, występujących na Wyżynie Małopolskiej, typach gleb o zróżnicowanych zdolnościach retencyjnych: rędziny (zapas wody użytecznej w 1m profilu  $ZWU = 72$  mm), czarnoziemy ( $ZWU = 270$  mm), gleby brunatne i bielcowe wytworzone z piasków słabo gliniastych i gliniastych ( $ZWU = 111$  mm), gleby brunatne i płowe wytworzone z lessów ( $ZWU = 255$  mm), mady średnie i ciężkie ( $ZWU = 157,5$  mm).

Niedobory wodne upraw rolniczych powstają gdy zapotrzebowanie na wodę nie jest w pełni pokryte przez opady i zapas wody łatwo dostępnej dla roślin w glebie oraz wodę z podsiąku kapilarnego. Niedobory te określają zapotrzebowanie na wodę do nawodnień netto, które należałoby stosować w celu osiągnięcia wysokich plonów.

Przez zapotrzebowanie upraw rolniczych na wodę (potrzeby wodne) rozumie się ilość wody potrzebną do osiągnięcia określonego efektu produkcyjnego (uzyskania określonego plonu końcowego). Miarą zapotrzebowania na wodę danej rośliny uprawnej, potrzebne do wydania określonego plonu, jest ewapotranspiracja potencjalna tej rośliny. Ewapotranspiracja potencjalna  $ET_p$  danej rośliny jest ewapotranspiracją rzeczywistą w warunkach dostatecznego zaopatrzenia roślin w wodę i prawidłowej agrotechniki. Jest to ilość wody zużywana na wydanie określonego plonu przez rośliny w określonym stanie rozwoju, nawożone na określonym poziomie, w danych warunkach klimatyczno-glebowo-siedliskowych. Przyjmuje się, że warunki rozwoju roślin i zaopatrzenie w składniki pokarmowe są optymalne.

Ewapotranspirację potencjalną  $ET_p$  obliczano metodą współczynników roślinnych:

$$ET_p = k_c ET_o \quad (1)$$

gdzie:

$ET_p$  = ewapotranspiracja potencjalna, mm;

$ET_o$  = ewapotranspiracja wskaźnikowa, mm;

$k_c$  = współczynnik roślinny zależny od fazy rozwojowej rośliny i wielkości plonu.

Ewapotranspirację wskaźnikową obliczono metodą Penmana–Monteitha, w której stosuje się wzór [ALLEN i in. 1998; ŁABĘDZKI i in. 2011; 2014]:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{T+273} u(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34u)} \quad (2)$$

gdzie:

$ET_o$  = ewapotranspiracja wskaźnikowa,  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ;

$R_n$  = promieniowanie netto,  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ;

$T$  = temperatura powietrza,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$u$  = prędkość wiatru na wysokości 2 m,  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$\Delta$  = nachylenie krzywej ciśnienia nasyconej pary wodnej,  $\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$\gamma$  = stała psychrometryczna,  $\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$e_a$  = ciśnienie pary wodnej, kPa;

$e_s$  = ciśnienie pary wodnej nasyconej, kPa.

Współczynnik roślinny  $k_c$ , wykorzystywany do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej roślin dających wysoki plon, możliwy do osiągnięcia w warunkach optymalnego nawożenia i nielimitującego poziomu pozostałych czynników agrotechnicznych, wyraża wpływ zespołu czynników roślinnych (związanych z fazą rozwojową roślin) na ewapotranspirację w warunkach braku wpływu wilgotności gleby na natężenie tego procesu, czyli w zakresie stanów dostatecznego uwilgotnienia. Jego wartość zależy od fazy rozwojowej rośliny i wielkości biomasy, czyli od wielkości plonu roślin.

Niedobór wody jest to jej ilość potrzebna do pokrycia zapotrzebowania roślin na wodę ( $ET_p$ ) po odjęciu opadu i aktualnego zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin. Za kryterium wystąpienia niedoboru wody przyjęto wyczerpanie zapasu wody łatwo dostępnej, tzn. takiego, w warunkach którego nie występuje hamowanie wzrostu roślin. Niedobór wody  $N$  w każdej dekadzie  $t$  okresu wegetacyjnego od 1 kwietnia oblicza się według równań:

gdy  $ET_p^t \leq P^t$

$$N^t = 0 \quad (3)$$

gdy  $ET_p^t > P^t$  i  $ZWU_p^t > ZWTD$

$$N^t = ET_p^t - P^t - (ZWU_p^t - ZWTD) \quad (4)$$

gdy  $ET_p^t > P^t$  i  $ZWU_p^t \leq ZWTD$

$$N^t = ET_p^t - P^t \quad (5)$$

gdzie:

$N^t$  = niedobór wody w dekadzie  $t$ , mm;

$ET_p^t$  = ewapotranspiracja potencjalna w dekadzie  $t$ , mm;

$P^t$  = opad w dekadzie  $t$ , mm;

$ZWU_p^t$  = zapas wody użytecznej na początku dekady  $t$  w warstwie korzeniowej, mm;

$ZWTD$  = zapas wody trudno dostępnej w warstwie korzeniowej, mm.

Zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej gleby (o głębokości zmiennej w czasie, ale w danej dekadzie stałej) na początku dekady jest równy:

$$ZWU_p^t = ZWU_k^{t-1} = ZWU_p^{t-1} + P^{t-1} - ET_p^{t-1} \quad (6)$$

gdzie:

$ZWU_p^t$  = zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej na początku dekady  $t$ , mm;

$ZWU_k^{t-1}$  = zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej na końcu dekady  $t-1$ , mm;

$ZWU_p^{t-1}$  = zapas wody użytecznej w warstwie korzeniowej na początku dekady  $t-1$ , mm;

$P^{t-1}$  = opad w dekadzie  $t-1$ , mm;

$ET_p^{t-1}$  = ewapotranspiracja potencjalna w dekadzie  $t-1$ , mm.

Zapas wody trudno dostępnej wyznaczono z zastosowaniem współczynnika dostępności wody  $p$ , określającego jaka część zapasu wody użytecznej jest łatwo dostępna dla roślin:

$$ZWTD = (1 - p)ZWU \quad (7)$$

gdzie:

$ZWTD$  = zapas wody trudno dostępnej, mm;

$p$  = współczynnik dostępności wody zależny od fazy rozwojowej rośliny oraz głębokości korzeni;

$ZWU$  = zapas wody użytecznej, w mm, obliczany z równania:

$$ZWU = ZW_{PPW} - ZW_{WTW} \quad (8)$$

gdzie:

$ZW_{PPW}$  = zapas wody w stanie polowej pojemności wodnej ( $pF = 2,2$ ), mm;

$ZW_{WTW}$  = zapas wody w stanie wilgotności trwałego wędnięcia ( $pF = 4,2$ ), mm.

Zapasy wody użytecznej w glebie wyznaczono z równania (8) na podstawie wartości  $ZW_{PPW}$  i  $ZW_{WTW}$  podanych przez WALCZAKA i in. [2002].

Aktualny zapas wody użytecznej obliczano w warstwie korzeniowej kapusty – o głębokości zmiennej w czasie od 0,5 do 0,8 m w ciągu okresu wegetacyjnego kapusty.

W modelu zastosowano wartości współczynnika roślinnego  $k_c$  dostosowanego do ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczanej metodą Penmana–Monteitha oraz współczynnika dostępności wody  $p$  za ALLENEM i in. [1998] (tab. 1).

**Tabela 1.** Współczynnik roślinny  $k_c$ , współczynnik dostępności wody  $p$  i głębokość korzenia się  $D$  dla kapusty

**Table 1.** Crop coefficient  $k_c$ , soil water depletion fraction  $p$  and rooting depth  $D$  for cabbage

Faza rozwoju Growth stage	$k_c$	$D$ , m	$p$
Początkowa Initial	0,70	0,2	0,45
Środkowa Mid	1,05	0,5	0,45
Końcowa Late	0,95	0,8	0,45

Źródło: opracowanie własne na podstawie ALLEN i in. [1998].

Source: own elaboration according to ALLEN *et al.* [1998].

Obliczono niedobory wody w kolejnych dekadach okresów wegetacji (kwiecień – wrzesień) wielolecia 1971–2010. Bilansowanie w każdym roku rozpoczyna się na wiosnę. Sumaryczny niedobór wody w miesiącu obliczano jako sumę niedoborów dekadowych, a w całym okresie wegetacji – jako sumę niedoborów miesięcznych. Niedobory wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia w okresach miesiący i w całym okresie wegetacyjnym (kwiecień – wrzesień) obliczono stosując metodę percentyli.

Percentyl jest miarą położenia w zbiorowości. Mierzy on skupienie jednostek w znaczeniu procentowym, dzieląc zbiorowość na 100 równych części. Dzięki tej mierze można, dla każdej obserwacji uporządkowanej zbiorowości, określić procent zbiorowości o wartości większej lub mniejszej od tej obserwacji. W przypadku niedoborów wody – przykładowo – dwudziesty percentyl oznacza, że 20% niedoborów ma wartość mniejszą lub równą wartości percentyla dwudziestego. W przypadku niedoborów interesują nas raczej wartości większe lub równe pewnej wartości i dwudziesty percentyl wskazuje wartość niedoborów o prawdopodobieństwie przewyższenia 80%. Analogicznie osiemdziesiąty percentyl odpowiada prawdopodobieństwu przewyższenia 20%.

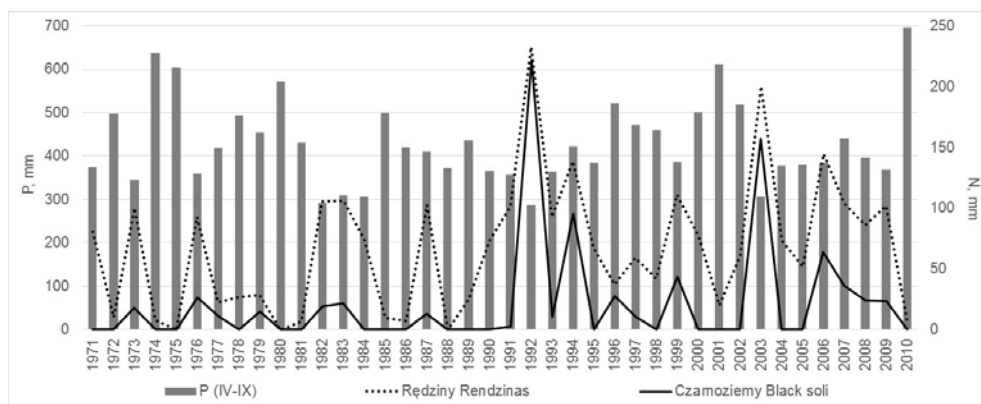
Wizualizację stacji meteorologicznych na tle omawianego obszaru przeprowadzono w programie GIS ArcView 9.0. W celu przestrzennego zobrazowania wyników badań wykorzystano metodę Ordinary Kriging Global, z wykorzystaniem modelu Gaussian. Przetworzono mapy rastrowe na izolinie map wektorowych, spełniających kryteria środowiska GIS ArcView. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci map.

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

### ZMIENNOŚĆ NIEDOBORÓW WODNYCH KAPUSTY GŁOWIASTEJ BIAŁEJ

Wyżyna Małopolska jest zaliczana do krainy klimatycznej śląsko-krakowskiej. Według kryteriów wilgotnościowych [BAC i in. 1993] wyżyna ta należy do regionu agroklimatu wilgotnego (C) z klimatycznym bilansem wodnym od  $-40$  do  $+60$  mm.

Średnia w latach 1971–2010 suma opadów w okresie wegetacyjnym (stacja Sielec) wynosiła 430,7 mm, przy czym minimalną sumę (282,5 mm) zanotowano w roku 1992, a maksymalną (695,2 mm) – w 2010 (rys. 1).

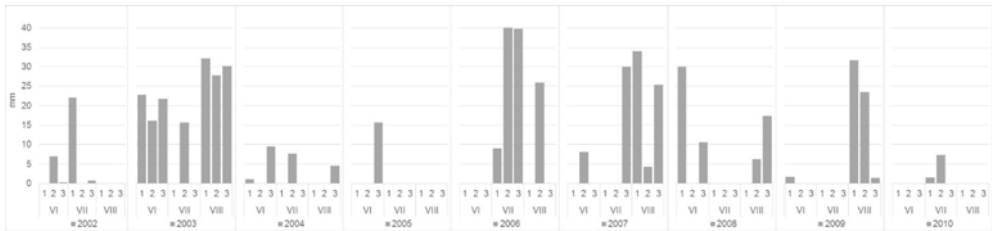


Rys. 1. Suma opadów atmosferycznych ( $P$ ) w okresie wegetacyjnym (IV–IX) w latach 1971–2010 i niedobory ( $N$ ) wodne kapusty na rędzinach i czarnoziemach (stacja Sielec); źródło: opracowanie własne

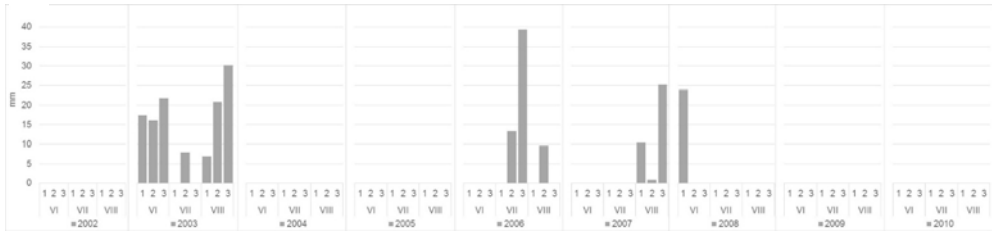
Fig. 1. Precipitation totals ( $P$ ) during the growing season (April–September) in the period 1971–2010 and crop water deficit ( $N$ ) of cabbage on the soils: rendzinas and black earth (Sielec station); source: own elaboration

Niedobory wodne kapusty w okresie wegetacji wynosiły od 35 mm (czarnoziemy) do 194 mm (rędziny). Największe niedobory (232,8 mm) w całym okresie zanotowano na stacji Sielec na rędzinach w 1992 r., w którym wystąpiły najmniejsze opady (rys. 1). Największe dekadowe niedobory wody przypadały na lipiec i sierpień i zmieniały się od 1,9 do 41,1 mm (rys. 2).

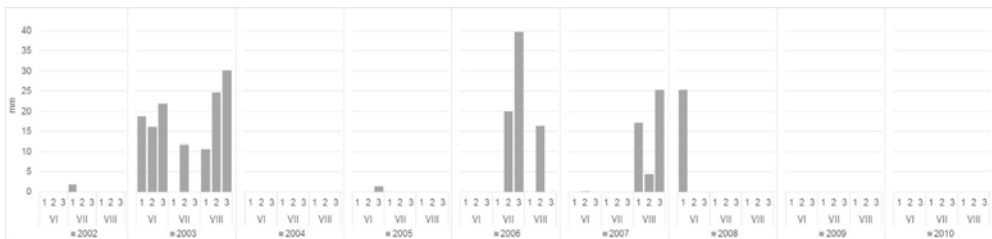
a)



b)



c)



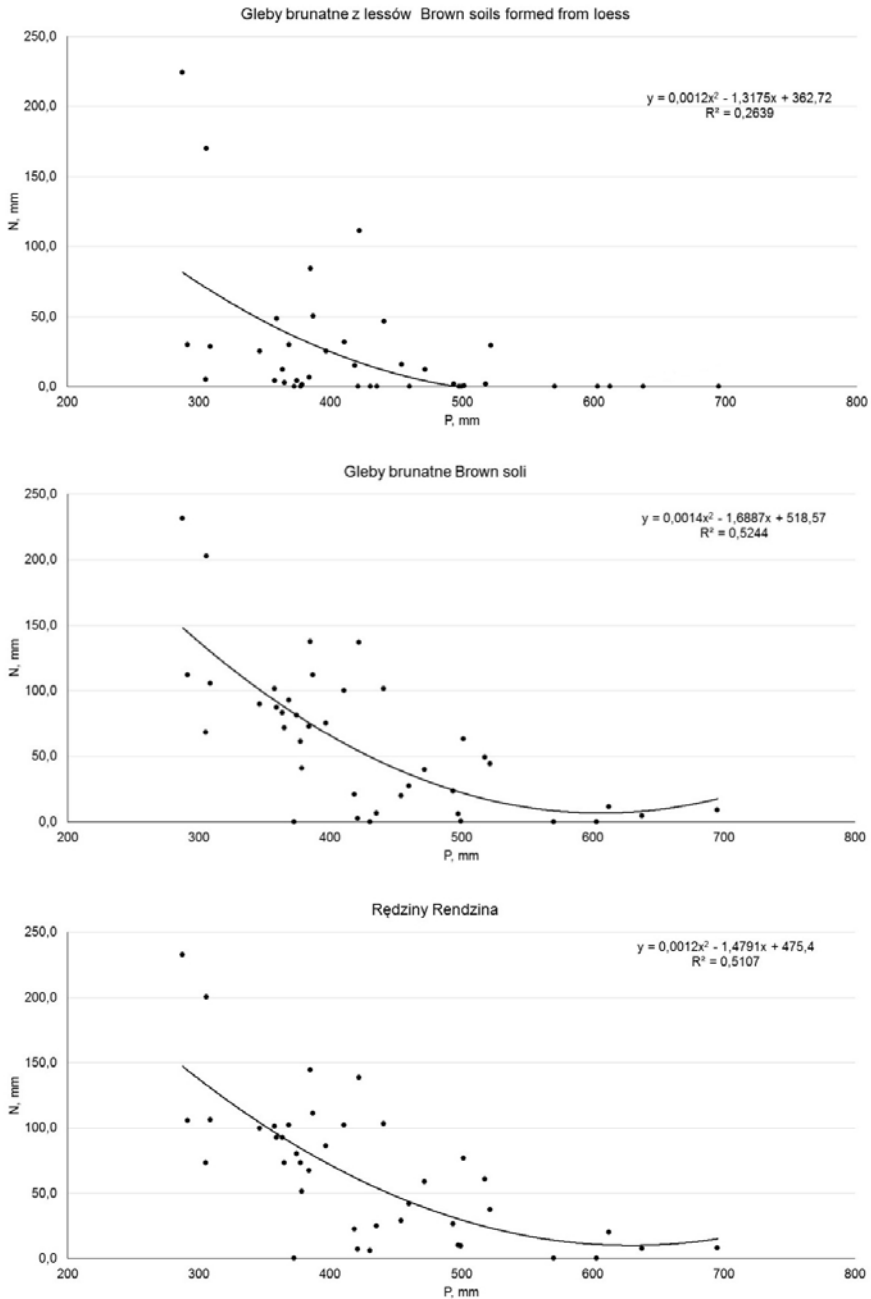
Rys. 2. Dekadowe niedobory wodne (mm) dla kapusty w latach 2002–2010 (w okresie VI–VIII) na glebach: a) brunatnych i bielcowych wytworzonych z piasków słabo gliniastych i gliniastych ( $ZWU = 111$  mm), b) czarnoziemach ( $ZWU = 270$  mm), c) brunatnych i płowych wytworzonych z lessów ( $ZWU = 255$  mm), stacja Sielec; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Ten-day water deficits (mm) for cabbage in 2002–2010 (during June–August) on the soils: a) brown and podsolch made of sand and weak clay loam and loam ( $ZWU = 111$  mm), b) black earths ( $ZWU = 270$  mm), c) brown soils formed from loess ( $ZWU = 255$  mm), Sielec station; source: own elaboration

Według KANISZEWSKIEGO [2006] zapotrzebowanie na wodę kapusty późnej wynosi 400–600 mm, a sezonowa norma nawodnieniowa to 100–200 mm. Wynika z tego, że na glebach o średnich zdolnościach retencyjnych ( $ZWU = 150$ – $160$  mm) w badanym rejonie kapusta wymaga nawodnień nawet w latach przeciętnych pod względem ilości opadów.

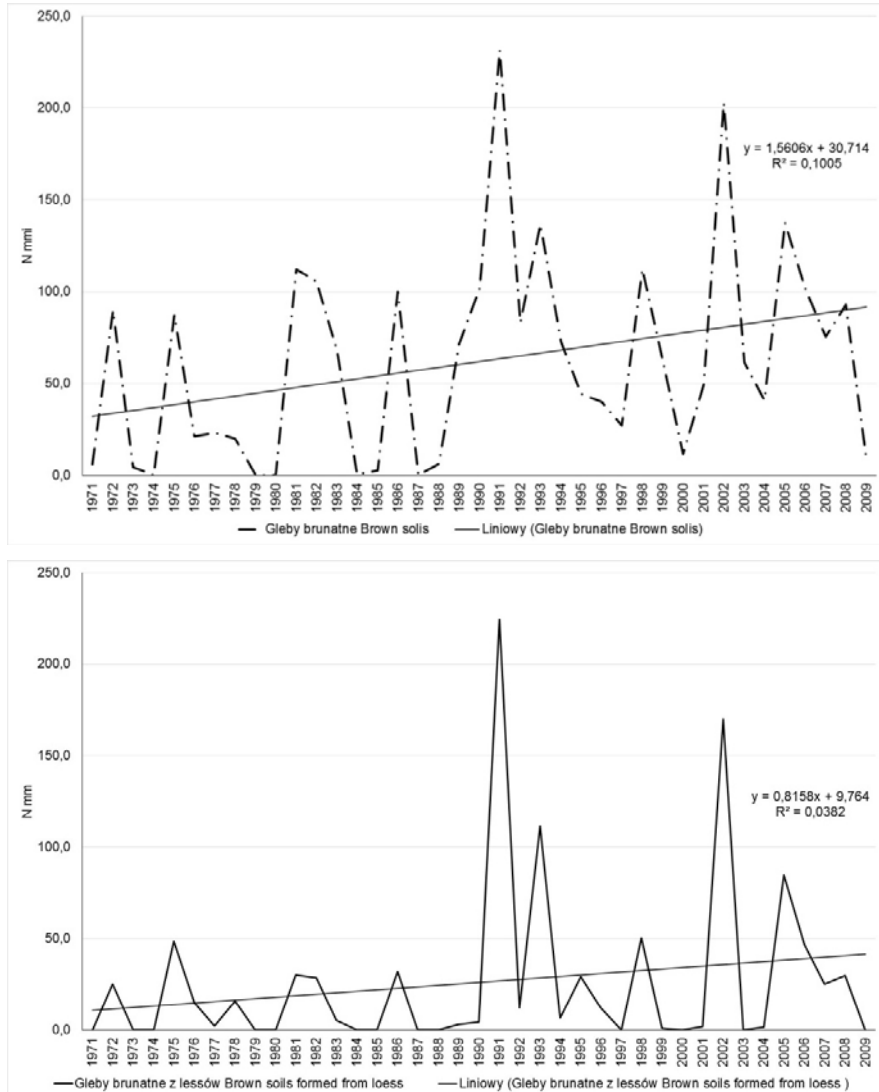
Stwierdzono istotną zależność niedoborów wodnych kapusty od opadów w okresach wegetacji (IV–IX) na glebach brunatnych i rędzinach (rys. 3). Linia trendu zmienności niedoborów wodnych w uprawie kapusty w latach 1971–2010 na glebach brunatnych wykazuje tendencję wzrostową, co świadczy o stopniowym, niewielkim zwiększaniu się tych niedoborów (rys. 4), trendy te nie są jednak istot-





Rys. 3. Zależność niedoborów wodnych ( $N$ ) kapusty od opadów ( $P$ ) w okresach wegetacji (IV–IX) na wybranych glebach; stacja Sielec; źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Relationship of the cabbage water deficits ( $N$ ) and precipitation ( $P$ ) during growing seasons (April–September) for selected soils; Sielec station; source: own elaboration

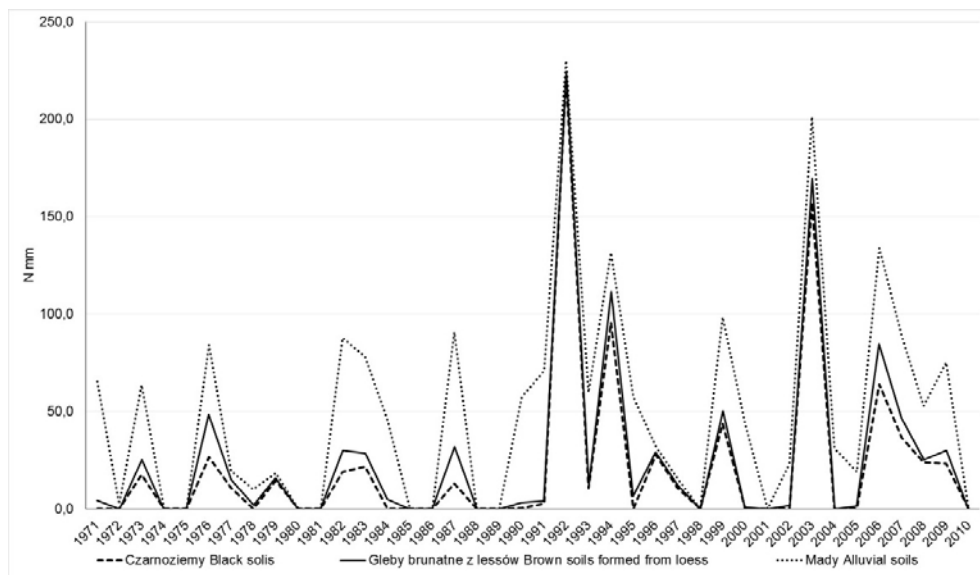


Rys. 4. Niedobory wodne ( $N$ ) kapusty w latach 1971–2010 na glebach brunatnych; stacja Sielec; źródło: opracowanie własne

Fig. 4. Cabbage water deficits ( $N$ ) in the years 1971–2010 on brown soils; Sielec station; source: own elaboration

ne statystycznie. Współczynniki determinacji charakteryzujące zależności są nieistotne i wynoszą 0,0382 na glebie brunatnej wytworzonej z lessów i 0,1005 na glebie brunatnej wytworzonej z piasków słabo gliniastych i gliniastych.

Porównując roczne (w latach 1971–2010) niedobory wodne kapusty na 3 wybranych glebach (rys. 5) stwierdzono ich zależność nie tylko od warunków atmos-



Rys. 5. Niedobory wodne ( $N$ ) kapusty w latach 1971–2010, na przykładzie stacji Sielec, na 3 wybranych glebach; źródło: opracowanie własne

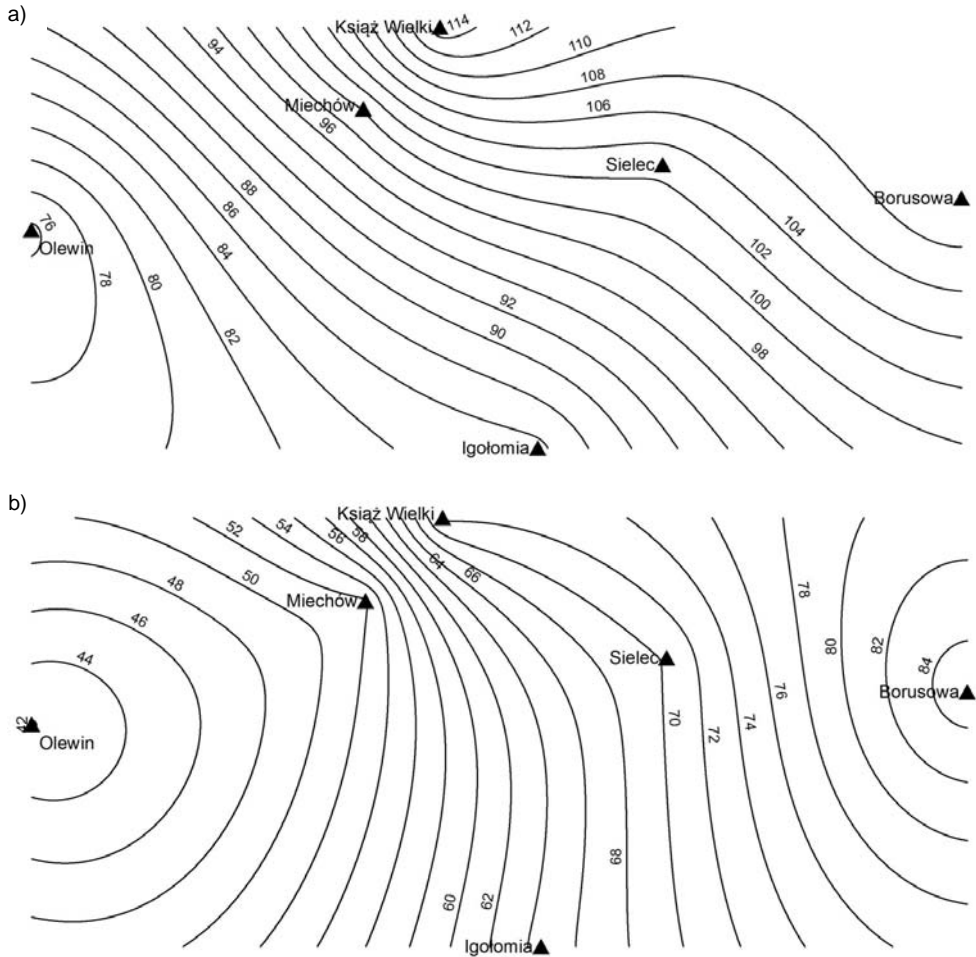
Fig 5. The cabbage water deficits ( $N$ ) in the years 1971–2010, an example of Sielec station, on 3 selected soils; source: own elaboration

ferycznych, ale także glebowych. Największe niedobory wodne wystąpiły na glebach lekkich. Na glebach o średnich zdolnościach retencyjnych niedobory wodne kapusty wystąpiły nawet w latach przeciętnych pod względem ilości opadów.

#### OBSZAROWA ZMIENNOŚĆ NIEDOBORÓW WODNYCH KAPUSTY W REJONIE WYŻYNY MAŁOPOLSKIEJ

Na rędzinach ( $ZWU = 72$  mm) największe niedobory wody o prawdopodobieństwie przewyższenia 20% występują w rejonie stacji opadowej Książ Wielki (114 mm), a najmniejsze – w okolicy Olewina (76 mm). Zróżnicowanie niedoborów wodnych o prawdopodobieństwie przewyższenia 50% jest niewielkie: wartości 70–84 mm występują we wschodniej części Wyżyny Małopolskiej, a wartości 44–50 mm – w części zachodniej (rys. 6).

Na glebach brunatnych i bielcowych wytworzonych z piasków słabo gliniastych i gliniastych ( $ZWU = 111$  mm) największe niedobory wodne (104 mm) o prawdopodobieństwie przewyższenia 20% występują w okolicy stacji Książ Wielki. Niedobory rzędu 90 mm występują w regionach środkowych, nieco mniejsze – w okolicy Olewina. Najmniejsze niedobory (36–40 mm) o prawdopodobień-

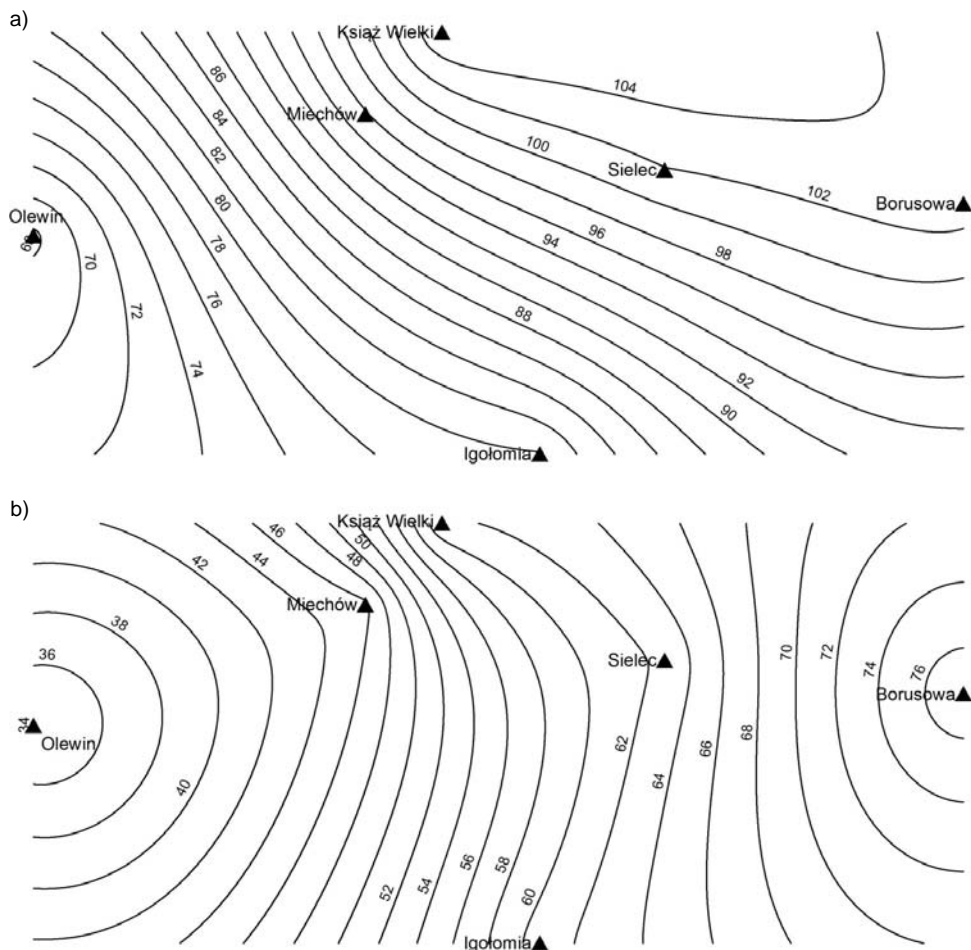


Rys. 6. Niedobory wodne (mm) kapusty głowiastej białej o prawdopodobieństwie przewyższenia: a) 20%, b) 50% na rędzinach ( $ZWU = 72$  mm) na Wyżynie Małopolskiej; źródło: opracowanie własne

Fig. 6. Crop water deficits (mm) of white cabbage on rendzina soil ( $ZWU = 72$  mm) on Małopolska Upland for the exceedance probabilities: a) 20%, b) 50%; source: own elaboration

stwie przewyższenia 50% występują w części zachodniej omawianego regionu (rys. 7).

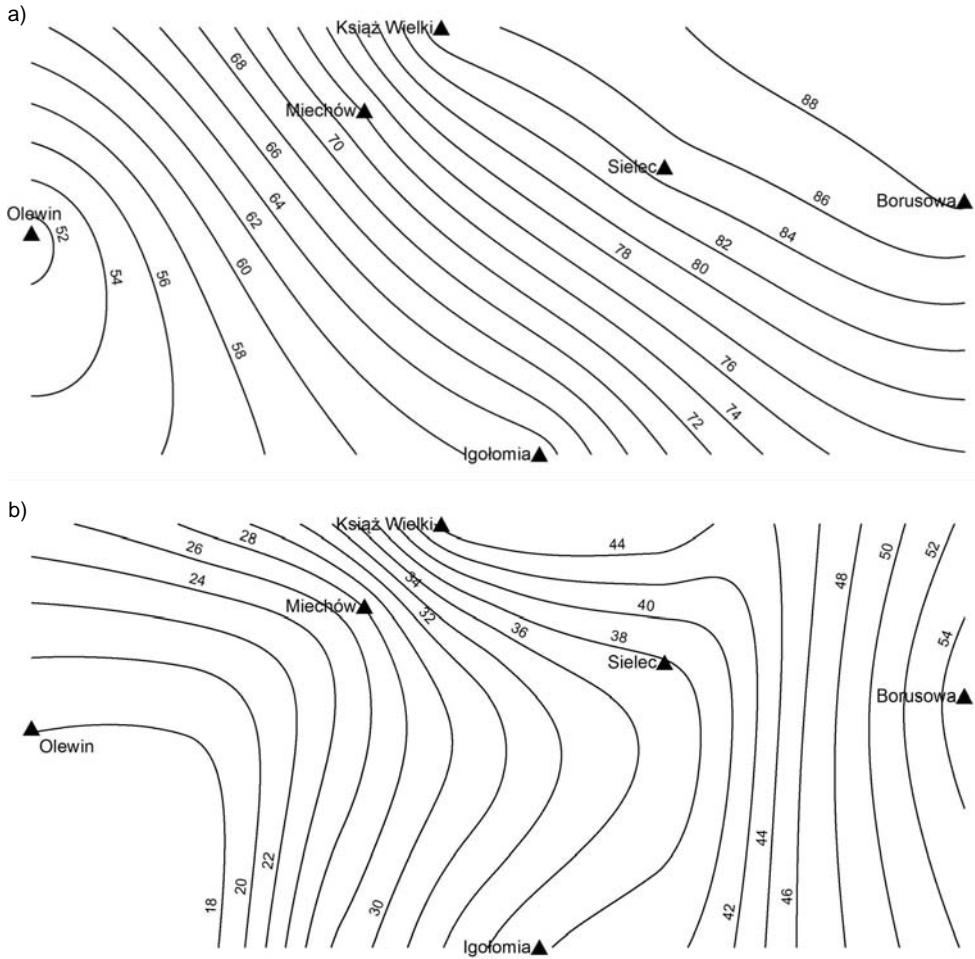
Na madach średnich i ciężkich ( $ZWU = 157,5$  mm) największe niedobory o prawdopodobieństwie przewyższenia 20% występują w rejonach stacji opadowych Książ Wielki, Sielec i Borusowa (86 mm), a najmniejsze – koło Olewina (52 mm). Zróżnicowanie niedoborów wodnych o prawdopodobieństwie przewyższenia 50% jest niewielkie: wartości 50–54 mm występują we wschodniej części wyżyny, a wartości 18–20 mm – w części zachodniej (rys. 8).



Rys. 7. Niedobory wodne (mm) kapusty głowiastej białej o prawdopodobieństwie przewyższenia: a) 20%, b) 50% na glebie brunatnej i bielcowej wytworzonej z piasków słabo gliniastych i gliniastych ( $ZWU = 111$  mm) na Wyżynie Małopolskiej; źródło: opracowanie własne

Fig. 7. Crop water deficits (mm) of white cabbage on brown and podzolic soil formed from loamy sands and loams ( $ZWU = 111$  mm) on Małopolska Upland for the exceedance probabilities: a) 20%, b) 50%; source: own elaboration

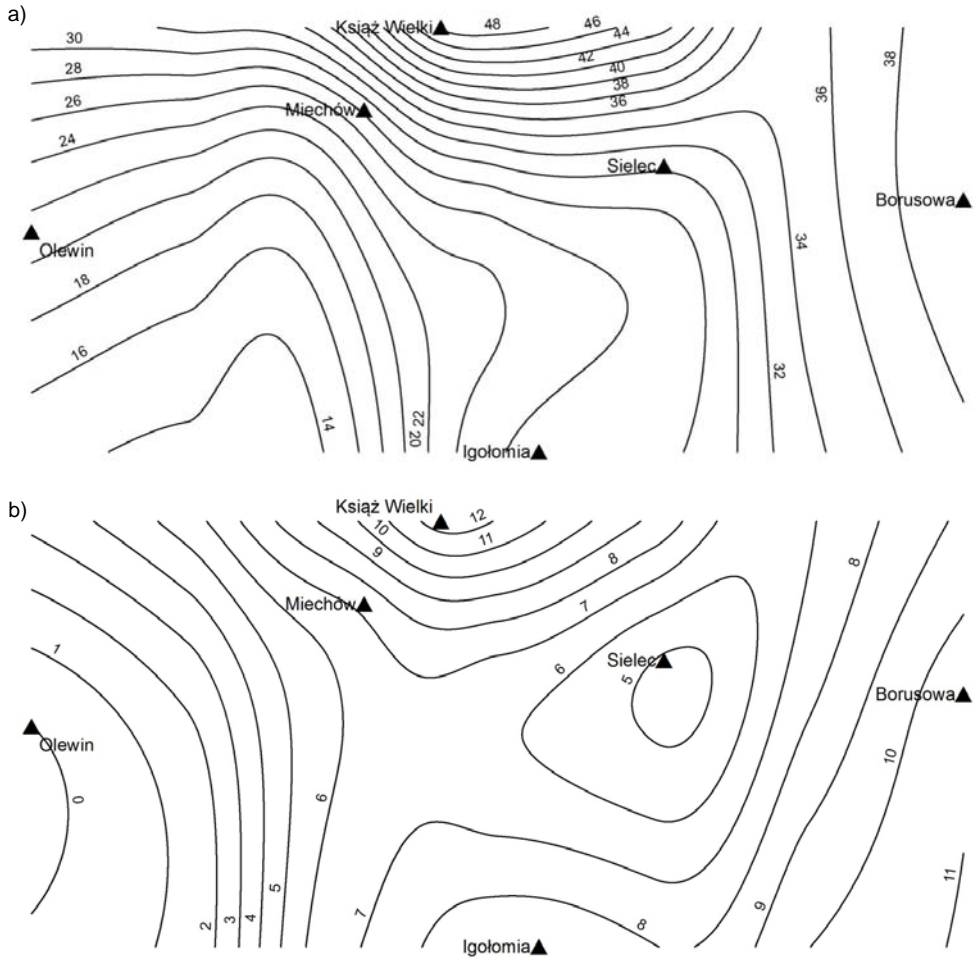
Na glebach brunatnych i pływach wytworzonych z lessów ( $ZWU = 255$  mm) zróżnicowanie niedoborów wodnych o prawdopodobieństwie przewyższenia 20% jest niewielkie: wartości 34–40 mm występują w północno-wschodniej części wyżyny, a wartości 16–26 mm – w części zachodniej. Najmniejsze niedobory (36–40 mm) o prawdopodobieństwie przewyższenia 50% występują w części zachodniej omawianego regionu (rys. 9).



Rys. 8. Niedobory wodne (mm) kapusty głowiastej białej o prawdopodobieństwie przewyższenia: a) 20%, b) 50% na madzie średniej i ciężkiej ( $ZWU = 157,5$  mm) na Wyżynie Małopolskiej; źródło: opracowanie własne

Fig. 8. Crop water deficits (mm) of white cabbage on medium and heavy alluvial soils ( $ZWU = 157.5$  mm) on Małopolska Upland for the exceedance probabilities: a) 20%, b) 50%; source: own elaboration

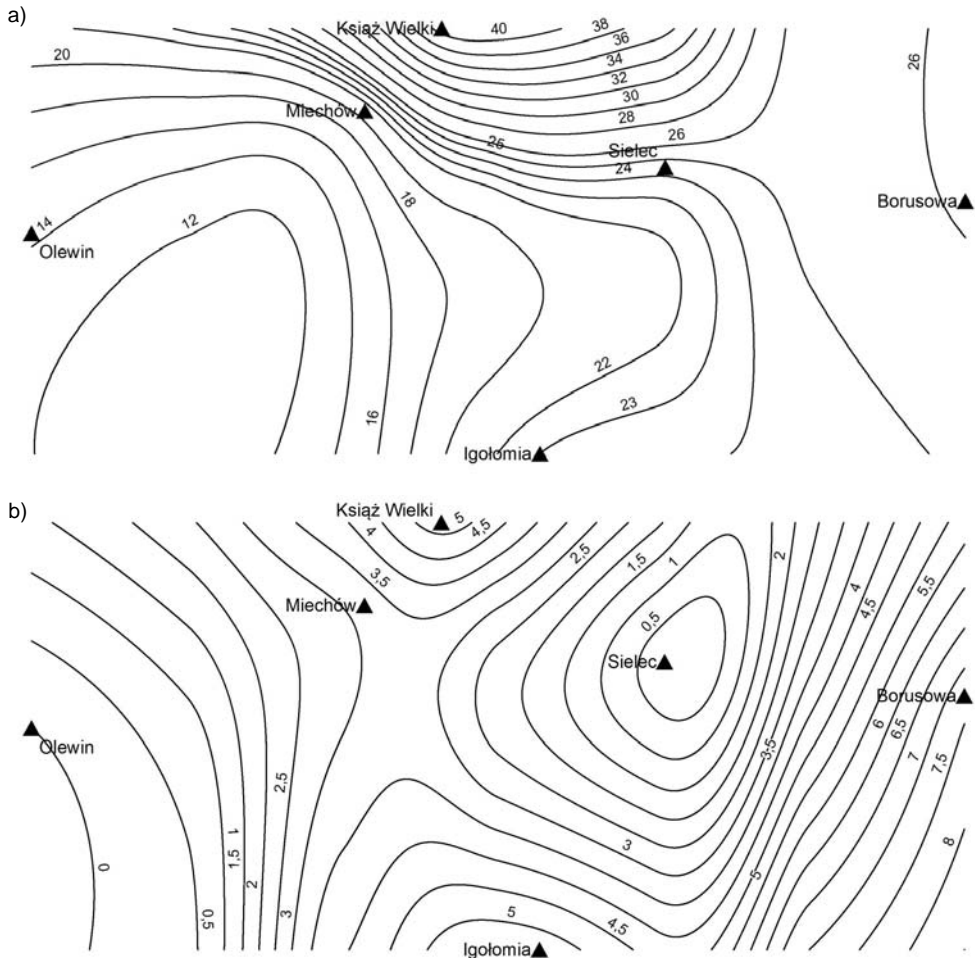
Na czarnoziemach ( $ZWU = 270$  mm) największe niedobory wodne o prawdopodobieństwie przewyższenia 20% (38 mm) występują w okolicy stacji Książ Wielki, a niedobory o wartości 25 mm obejmują regiony środkowe. Mniejsze wartości występują na terenach koło Olewina. Najmniejsze niedobory (0–1,5 mm) o prawdopodobieństwie przewyższenia 50% występują w części zachodniej omawianego regionu (rys. 10).



Rys. 9. Niedobory wodne (mm) kapusty głowiastej białej o prawdopodobieństwie przewyższenia: a) 20%, b) 50% na glebie brunatnej i płowej wytworzonej z lessów ( $ZWU = 255$  mm) na Wyżynie Małopolskiej; źródło: opracowanie własne

Fig. 9. Crop water deficits (mm) of white cabbage on brown and fawn soils formed from loess ( $ZWU = 255$  mm) on Małopolska Upland for the exceedance probabilities: a) 20%, b) 50%; source: own elaboration

Mapy izolinii niedoborów wodnych (rys. 6–10) mogą być stosowane do wyznaczania zapotrzebowania na wodę kapusty głowiastej białej w warunkach zapewniających osiągnięcie maksymalnych, ze względu na czynnik wodny, plonów oraz najmniejszych wskaźników zużycia wody na jednostkę plonu. Umożliwiają one także wyznaczanie niedoborów miarodajnych (o prawdopodobieństwie przewyższenia 20% i 50%) na poszczególnych glebach, potrzebnych do planowania nawodnień.



Rys. 10. Niedobory wodne (mm) kapusty głowiastej białej o prawdopodobieństwie przewyższenia: a) 20%, b) 50% na czarnoziemach ( $ZWU = 270$  mm) na Wyżynie Małopolskiej; źródło: opracowanie własne

Fig. 10. Crop water deficits (mm) of white cabbage on black earth ( $ZWU = 270$  mm) on Małopolska Upland for the exceedance probabilities: a) 20%, b) 50%; source: own elaboration

## WNIOSKI

1. Na glebach Wyżyny Małopolskiej o średnich zdolnościach retencyjnych niedobory wodne w uprawie kapusty występowały nawet w latach przeciętnych pod względem ilości opadów (o prawdopodobieństwie przewyższenia 50%).

2. Opracowane za pomocą modelu CROPBALANCE mapy umożliwiają określenie, w okresie wegetacyjnym, niedoborów wodnych, o określonym prawdopo-



dobieństwie przewyższenia (20 i 50%), w uprawie kapusty na charakterystycznych dla Wyżyny Małopolskiej glebach. Mapy te mogą mieć również zastosowanie do oceny warunków klimatycznych oraz do wyznaczania zapotrzebowania na wodę kapusty w warunkach zapewniających osiągnięcie wysokich plonów.

3. Określone w pracy niedobory wodne, dotyczące części obszaru Wyżyny Małopolskiej, danej uprawy warzywniczej i założonej wysokości plonu, mogą być stosowane w innych regionach o podobnych warunkach glebowych i klimatycznych, jako kompleksowy wskaźnik, umożliwiający ocenę zróżnicowania klimatu na cele planowania wodno-gospodarczego.

## LITERATURA

- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56. Rome. FAO. ISBN 92-5-104219-5 ss. 300.
- BAC S., KOŹMIŃSKI C., ROJEK M. 1993 Agrometeorologia. Warszawa. PWN. ISBN 83-01-11114-3 ss. 250.
- DURAU B., ŻARSKI J. 2013. Niedobory opadów atmosferycznych w uprawie kapusty głowiastej białej i marchwi w rejonie Bydgoszczy w latach 1981–2010. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 1/I s. 37–49.
- DZIEŹYC J. 1988. Rolnictwo w warunkach nawadniania. Warszawa. PWN. ISBN 83-01-08121-X ss. 416.
- GUS 2013. Baza danych lokalnych [online]. [Dostęp 02.11.2015]. Dostępny w Internecie: [http://stat.gov.pl/bdl/app/dane\\_cechter.display?p\\_id=719988&p\\_token=0.053801703499630094](http://stat.gov.pl/bdl/app/dane_cechter.display?p_id=719988&p_token=0.053801703499630094)
- KACA E., ŁABĘDZKI L., LUBBE I. 2011. Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu ekstremalnych zjawisk pogodowych. Postępy Nauk Rolniczych. Nr 1 s. 37–49.
- KANISZEWSKI S. 2005a. Nawadnianie warzyw polowych. Kraków. Plantpress. ISBN 83-89874-14-8 ss. 85.
- KANISZEWSKI S. 2005b. Technologia nawadniania warzyw. W: Nawadnianie warzyw w uprawach polowych. Ogólnopolska Konferencja Naukowa. Skierniewice, 19.05.2005. Skierniewice. Instytut Warzywnictwa s. 5–17.
- KANISZEWSKI S. 2006. Nawadnianie warzyw. W: Nawadnianie roślin. Pr. zbior. Red. S. Karczmarczyk, L. Nowak. Warszawa. PWRiL s. 295–332.
- ŁABĘDZKI L. 2006. Susze rolnicze – zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie. Nr 17. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 83-88763-63-6 ss. 107.
- ŁABĘDZKI L., BĄK B., KANECKA-GESZKE E., KASPERSKA-WOŁOWICZ W., SMARZYŃSKA K. 2008. Związek między suszą meteorologiczną i rolniczą w różnych regionach agroklimatycznych Polski. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie. Nr 25. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISSN 1644-1095 ss. 137.
- ŁABĘDZKI L., BĄK B., SMARZYŃSKA K. 2014. Spatio-temporal variability and trends of Penman-Monteith reference evapotranspiration (FAO-56) in 1971–2010 under climatic conditions of Poland. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 23. No. 6. s. 2083–2091. DOI: 10.15244/pjoes/27816.

- ŁABĘDZKI L., KANECKA-GESZKE E., BĄK B., SŁOWIŃSKA S. 2011. Estimating reference evapotranspiration using the FAO Penman-Monteith method for climatic conditions of Poland. W: Evapotranspiration. Pr. zbior. Red. L. Łabędzki. Rijeka. InTech s. 275–294.
- NYC K., POKLADEK R. 2009. Eksploatacja systemów melioracyjnych podstawą racjonalnej spodarki wodnej w środowisku przyrodniczo-rolniczym. T. 14. Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska. Wrocław. Wydaw. UP we Wrocławiu. ISBN 978-83-60574-69-0 ss. 82.
- OSTROWSKI J., ŁABĘDZKI L., KOWALIK W., KANECKA-GESZKE E., KASPERSKA-WOŁOWICZ W., SMARZYŃSKA K., TUSIŃSKI E. 2008. Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 978-83-88763-8-16 ss. 19 + 32 mapy.
- RUMASZ-RUDNICKA E., KOSZAŃSKI Z., KORYBUT WORONIECKI T. 2008. Efekty nawadniania niektórych warzyw. Acta Agrophysica. Vol. 11. Iss. 2 s. 509–517.
- RZEKANOWSKI C., ŻARSKI J., ROLBIECKI S. 2011. Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę. Postępy Nauk Rolniczych. Nr 1 s. 51–63.
- WALCZAK R., OSTROWSKI J., WITKOWSKA-WALCZAK B., STAWIŃSKI C. 2002. Hydrofizyczne charakterystyki mineralnych gleb ornycy Polski. Acta Agrophysica. Monografie. Nr 79. ISSN 1234-4125 ss. 64+32 mapy.
- ŻARSKI J., DUDEK S. 2009. Zmienność czasowa potrzeb nawadniania wybranych roślin w regionie Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 3 s. 141–149.

*Leszek ŁABĘDZKI, Agnieszka KOWALCZYK, Antoni KUŹNIAR, Marek KOSTUCH*

#### ASSESSMENT OF CROP WATER DEFICITS OF WHITE CABBAGE CULTIVATED ON THE MAŁOPOLSKA UPLAND

**Key words:** modelling, soil water retention, vegetables, water deficit

#### S u m m a r y

The paper presents an assessment of crop water deficit of white cabbage with a different exceedance probability, grown in the Małopolska Upland. The calculations were made by balancing readily available soil water in the root zone using the CROPBALANCE model. The study was based on the meteorological data of the Institute of Meteorology and Water Management from the period of 1971–2010 – daily precipitation from 6 stations (Borusowa, Igołomia, Miechów Książ Wielki, Olewin and Sielec). The average 10-day air temperature, water vapour pressure, wind speed and the sunshine hours data were collected from Kraków–Balice weather station. Crop water deficits were estimated for cabbage growing on five soil types with a different soil water retention capacities, which occur in the Małopolska Upland.

Water deficits (at 20% exceedance probability) of cabbage grown on the Małopolska Upland soils varied during the growing seasons from 14 mm (black soils) to 115 mm (rendzina soils). Deficits on the soils with medium retention capacity ( $ZWU = 111–158$  mm) were even in the years in terms of the average amount of rainfall (with probability 50%). The highest water deficits of cabbage occur on lighter soils (e.g. rendzina) and are much greater than on brown soils of loess. The study confirmed the high variability of the soil and pluvial conditions in the region and demonstrated the usability of applying the CROPBALANCE model to assess crop water deficits of vegetable crops.

**Adres do korespondencji:** prof. dr hab. inż. Leszek Łabędzki, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy ITP, ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz; tel. +48 52 375-01-45, e-mail: l.labeledzki@itp.edu.pl