

Wpłynęło 04.03.2014 r.
Zrecenzowano 09.04.2014 r.
Zaakceptowano 20.05.2014 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Bieżąca ocena potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych z zastosowaniem automatycznego monitoringu meteorologicznego i modelowania matematycznego

Agnieszka KOWALCZYK¹⁾ ABDEF, Antoni KUŹNIAR¹⁾ ABDF, Leszek ŁABĘDZKI²⁾ BCDE

¹⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

²⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy

Streszczenie

Prace badawcze nad zapotrzebowaniem na wodę roślin uprawnych i użytków zielonych i niedoborami wody są prowadzone w naszym kraju od wielu lat, jednak szczegółowe badania w tym zakresie na obszarze Wyżyny Małopolskiej były prowadzone sporadycznie. Celem pracy jest ocena dekadowego zapotrzebowania roślin uprawnych na wodę i jej niedoborów oraz ich zmienności w zależności od retencyjności wodnej gleb na Płaskowyżu Proszowickim, z zastosowaniem automatycznego monitoringu meteorologicznego. Wykorzystano dane obserwacyjne ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Proszowicach/Opatkowicach. Zapotrzebowanie na wodę i jej niedobory określono dla pięciu gatunków roślin (buraka cukrowego, kapusty, kukurydzy na ziarno, pszenicy ozimej, ziemniaka późnego) oraz dla czterech rodzajów gleb występujących na Płaskowyżu Proszowickim, o zróżnicowanych zdolnościach retencyjnych. Zapotrzebowanie na wodę i jej niedobory obliczono za pomocą autorskiego modelu CROPBALANCE, wykorzystując dobowe wartości mierzonych elementów meteorologicznych. Największe niedobory wody w 2013 r. stwierdzono w przypadku uprawy ziemniaka późnego. W przypadku wszystkich badanych roślin, z wyjątkiem pszenicy ozimej, największe niedobory wody wystąpiły na glebach lekkich. Badania potwierdziły dużą zmienność warunków glebowo-roślinnych w rejonie Płaskowyżu Proszowickiego oraz wykazały przydatność automatycznego monitoringu meteorologicznego i modelowania matematycznego do bieżącej oceny zapotrzebowania na wodę roślin uprawnych i jej niedoborów.

Słowa kluczowe: monitoring meteorologiczny, potrzeby, niedobory wodne, Płaskowyż Proszowicki



Wstęp

Obszar Płaskowyżu Proszowickiego (rys. 1) należy do Wyżyny Małopolskiej, krainy klimatycznej śląsko-krakowskiej, która ma klimat przejściowy – między kontynentalnym a oceanicznym. Na klimat omawianego obszaru istotny wpływ wywiera wyniesienie nad poziom morza. Długość okresu wegetacyjnego jest oceniana na 200–210 dni w roku. Średnia roczna temperatura powietrza z wielolecia jest wysoka i wynosi od 7,0 do 8,0°C, a roczne sumy opadów atmosferycznych – od 600 do 650 mm, w zależności od rejonu [DYNOWSKA, MACIEJEWSKI 1991].



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 1. Mapa Wyżyn Małopolskich oraz zlewnie rzek Szreniawa i Nidzica
Fig. 1. Map of the Małopolska Upland and the catchments areas of Szreniawa and Nidzica Rivers

Najważniejszą rzeką na obszarze Płaskowyżu jest Szreniawa, lewobrzeżny dopływ Wisły (rys. 1). Zlewnia o powierzchni 712,87 km² ma charakter typowo rolniczy. Użytki rolne stanowią 83,5% powierzchni całkowitej, lasy – 6,0%, a nieużytki – 10,5%. W strukturze użytków rolnych dominują grunty orne (91,3% powierzchni). Łąki i pastwiska zajmują odpowiednio 6,6 i 1,1%, a sady – 1,0%. Uprawiane są tu głównie pszenica, jęczmień, warzywa, buraki cukrowe i tytoń [SMOROŃ 2012]. Omawiany region charakteryzuje się bardzo dobrymi glebami, zaliczanymi do klas bonitacyjnych I–III, a duży udział czarnoziemów i mad nadrzecznych, należących do najwyższych klas bonitacyjnych, tworzy bardzo korzystną rolniczą przestrzeń produkcyjną. Na całym obszarze Płaskowyżu Proszowickiego występują gleby bru-

natne i płowe, wytworzone z lessów i utworów lessowatych, oraz rędziny, które powstały na podłożu wapiennym [KOWALCZYK, SMOROŃ 2013].

Wprawdzie w całym tym regionie, w latach przeciętnych, nie występują długotrwałe braki wody, jednak odnotowuje się straty plonów w latach suchych, spowodowane niedoborem wody w glebie. W układzie gleba-woda-atmosfera czynniki pogodowe w istotny sposób decydują o ilości i dostępności wody oraz rozpuszczalnych substancji pokarmowych, dostarczanych do systemu korzeniowego roślin uprawnych. Procesy te są złożone i ich przebieg zależy od wielu czynników. Z tymi procesami jest związana tematyka zapotrzebowania roślin na wodę i jej niedoborów. Nie była ona dotychczas podejmowana w szerszym zakresie odnośnie do regionu Wyżyn Małopolskich, mimo coraz większego zainteresowania nawodnieniami, szczególnie upraw ogrodniczych.

Potrzeby nawadniania najczęściej określa się biorąc pod uwagę niedobory wody dla roślin uprawnych. Jest to wielkość, która charakteryzuje niedobór opadów w stosunku do zapotrzebowania na wodę roślin uprawnych, z uwzględnieniem lub nie retencji wodnej gleb. Prace badawcze nad niedoborami wody dla roślin uprawnych i użytków zielonych są prowadzone w naszym kraju od wielu lat. Do końca lat 80. XX w. niedobory te wyznaczano w stosunku do opadów. W miarę postępu badań, pojawiały się różne opracowania, dotyczące podziału Polski na strefy o różnej celowości i konieczności nawodnień. W początkowej fazie badań niedobory obliczano na podstawie wskaźników klimatycznych. Pierwsza praca, która stanowiła podstawę określania niedoborów wodnych w celu wyznaczania lokalizacji deszczowni, to publikacja MATULA i DWORSKIEJ [1972]. Opracowali oni rozkład czasowo-przestrzenny wskaźnika, będącego stosunkiem parowania potencjalnego do opadów, jako podstawę obliczeń niedoborów wodnych w okresie wegetacyjnym. DRUPKA [1975; 1976] na podstawie izolinii stosunku parowania potencjalnego do sumy opadów atmosferycznych (wskaźnik Stenza) wydzielił cztery strefy klimatyczne o zróżnicowanej celowości stosowania nawodnień deszczownianych w rolnictwie. BAC i ROJEK [1982] opracowali mapy tendencji agroklimatycznych w Polsce, opierając się tylko na klimatycznym bilansie wodnym, bez uwzględniania retencji wodnej gleb. Według tych map rejony o niedoborach w granicach od -20 do -30 mm zajmują ok. $2/3$ terenu Polski.

Potrzeby nawadniania oceniano na podstawie niedoborów opadów w okresach krytycznych dla ważniejszych roślin uprawnych, z różnic między dekadowym zapotrzebowaniem na opady a rzeczywistymi opadami notowanymi w stacjach meteorologicznych. Jednym z pierwszych polskich badaczy, który zwrócił uwagę na udział retencji glebowej w pokrywaniu zapotrzebowania roślin uprawnych na wodę był KRYSZAN [1986], który – szacując niedobory wody – uwzględnił tzw. efektywną retencję użyteczną, przyjmując trzy wskaźnikowe wartości zdolności retencyjnej gleb (50, 70, 100 mm). GRABARCZYK [1987] opracował podział Polski na regiony zróżnicowania celowości instalacji deszczowni, ze względu na sumy opadów okresu wegetacyjnego i kompleksy gleb. DZIEŻYC [1987] wyznaczył regionalne niedobory opadów i potrzeby deszczowania dla gleb lekkich i średnich.

Od wielu lat do ustalania niedoborów wodnych jest stosowana metodyka ROGUSKIEGO i in. [1988], w której wartości zapasów wody łatwo dostępnej w poszczegól-

nych gatunkach gleb są przyjmowane według danych ŚLUSARCZYKA [1979] lub określone na podstawie krzywej retencji. Tak uwzględniana retencja wodna gleb w istotny sposób rzutuje na poziom szacowanych niedoborów wodnych i trafność prognozowania ilości wody potrzebnej do nawodnień. Według tej metodyki ŁABĘDZKI [1996] wyznaczył niedobory wodne dla wybranych roślin polowych i użytków zielonych w 49 województwach w Polsce, umożliwiające ocenę prawdopodobnych braków wody w produkcji roślinnej. Autor ten oparł się na równaniu bilansowym uwzględniającym opady, ewapotranspirację potencjalną roślin oraz efektywną retencję użyteczną gleb. DRUPKA i in. [1997] opracowali klimatyczno-rolnicze kryteria oceny potrzeb nawadniania w Polsce, których podstawą były niedobory wodne oceniane z uwzględnieniem czynników meteorologicznych i glebowo-wodnych.

Utworzenie w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych bazy danych glebowo-kartograficznych [OSTROWSKI 1996] i opracowanie procedury wyznaczania izolinii niedoborów wody i komputerowego generowania ich kartograficznego zobrazowania, stworzyły nowe możliwości w zakresie doskonalenia prognozowania ich wartości dla poszczególnych roślin uprawianych na glebach ornych. Realizacja tego przedsięwzięcia, w ramach komputerowego systemu informacji przestrzennej, stworzyła szansę na opracowanie atlasu z zestawem map, lokalizujących oszacowane niedobory wody dla uprawy ważniejszych roślin przy zadanym poziomie plonowania, z uwzględnieniem gleb, na których uprawa tych roślin ma edaficzne uzasadnienie. Atlas, pod redakcją naukową OSTROWSKIEGO i ŁABĘDZKIEGO [2008], prezentuje przestrzenną zmienność niedoborów wodnych dla wybranych roślin uprawnych i użytków zielonych, w powiązaniu z glebami występującymi na terenie Polski i wskazuje rejony, w których występuje potrzeba nawadniania.

Celem pracy jest ocena dekadowego zapotrzebowania roślin uprawnych na wodę i jej niedoborów oraz ich zmienności w zależności od retencyjności wodnej gleb na Płaskowyżu Proszowickim (Wyżyny Małopolskie), z zastosowaniem automatycznego monitoringu meteorologicznego.

Metody badań

W pracy wykorzystano dane obserwacyjne z automatycznej stacji meteorologicznej (fot. 1) Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Falentach, zlokalizowanej w Proszowicach/Opatkowicach (położenie geograficzne – 50.210664, 20.286427, wysokość – 212 m n.p.m.). Monitoring, którym objęto pomiary temperatury i wilgotności powietrza, prędkości wiatru, promieniowania słonecznego i opadów prowadzono w 2013 r.

Badania zapotrzebowania na wodę i jej niedoborów wykonano dla pięciu gatunków roślin oraz czterech grup gleb o zróżnicowanych zdolnościach retencyjnych, występujących na Płaskowyżu Proszowickim. Obliczenia wykonano za pomocą autorzkiego modelu CROPBALANCE [ŁABĘDZKI 2006; ŁABĘDZKI i in. 2008], wykorzystując dobowe wartości mierzonych elementów meteorologicznych (tab. 1).



Źródło: A. Kuźniar. Source: A. Kuźniar.

Fot. 1. Automatyczna stacja meteorologiczna
Photo 1. Automatic meteorological station

Przez zapotrzebowanie upraw rolniczych na wodę (potrzeby wodne) rozumie się ilość wody potrzebną do osiągnięcia określonego efektu produkcyjnego (uzyskania określonego plonu końcowego). Miarą zapotrzebowania danej rośliny uprawnej na wodę potrzebną 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. 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 dobre.

Ewapotranspirację potencjalną ET_p obliczano metodą współczynników roślinnych jako:

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

gdzie:

ET_p – ewapotranspiracja potencjalna [mm];

ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa [mm];

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

Tabela 1. Przykład danych wejściowych wykorzystywanych do obliczeń modelem CROPBALANCE

Table 1. An example of the input data used for calculation by the CROPBALANCE model

Miesiąc Month	Dzień Day	P [mm]	T [°C]	RH [%]	R_s [W·m ⁻²]	u [m·s ⁻¹]
Kwiecień April (2013)	1	1,6	-0,6	96	67	1,8
	2	0	-1,0	89	84	0,4
	3	1,2	0,0	87	94	2,8
	4	1,9	0,7	94	55	1,4
	5	0,2	1,0	94	56	0,2
	6	0	1,8	86	174	0,7
	7	0	1,7	79	200	1,0
	8	0	2,1	83	109	1,3
	9	0	2,8	78	148	0,9
	10	0	2,7	89	43	0,0
	11	2,0	6,3	89	102	0,5
	12	5,2	8,9	92	50	2,2
	13	3,6	9,6	84	191	3,3
	14	0	7,6	83	100	0,6
	15	0	8,1	74	214	1,0
	16	0,5	11,5	65	206	1,6
	17	0,9	14,6	72	173	1,2
	18	5,1	18,0	64	189	2,7
	19	0,2	11,4	75	92	1,2
	20	0	10,0	66	195	1,7

Objaśnienia: P – opad, T – temperatura powietrza, RH – wilgotność względna powietrza, R_s – promieniowanie słoneczne, u – prędkość wiatru.

Explanations: P – precipitation, T – air temperature, RH – relative humidity of air, R_s – solar radiation, u – wind velocity.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

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

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

gdzie:

ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa [mm·d⁻¹];

R_n – promieniowanie netto [MJ·m⁻²·d⁻¹];

T – temperatura powietrza [°C];

u – prędkość wiatru na wysokości 2 m [m·s⁻¹];

Δ – nachylenie krzywej ciśnienia nasyconej pary wodnej [kPa·°C⁻¹];

γ – stała psychrometryczna [kPa·°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 dużego 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 przedziale stanów dostatecznego uwilgotnienia. Jego wartość zależy od fazy rozwojowej rośliny i wielkości biomasy, czyli od wielkości plonu roślin. W pracy zastosowano współczynniki roślinne k_c określone dla kolejnych dekad okresu wegetacyjnego, dostosowane do ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczanej metodą Penmana-Monteitha, na podstawie danych literaturowych i własnych badań lizymetrycznych [ALLEN i in. 1998; DOORENBOS, KASSAM 1979; DOORENBOS, PRUITT 1977; ŁĄBĘDZKI i in. 2008; OSTROWSKI i in. 2008; ROGUSKI i in. 1988; ROJEK 1987; 1990].

Model CROPBALANCE symuluje bilans wodny gleby z krokiem czasowym 1 doby. 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 dobie okresu wegetacyjnego od 1 kwietnia oblicza się według równania:

$$N^t = ET_p^t - (P^t + ZW\zeta_p^t) \quad (3)$$

gdzie:

N^t – niedobór wody w dobie t [mm];

ET_p^t – ewapotranspiracja potencjalna w dobie t [mm];

P^t – opad w dobie t [mm];

$ZW\zeta_p^t$ – zapas wody łatwo dostępnej na początku doby t w warstwie korzeniowej [mm].

Zapasy wody łatwo dostępnej w warstwie korzeniowej gleby (o głębokości zmiennej w czasie, ale w danej dekadzie stałej) w każdej dobie okresu wegetacyjnego od 1 kwietnia jest równy:

$$ZW\zeta_p^t = ZW\zeta_k^{t-1} = ZW\zeta_p^{t-1} + P^{t-1} - ET_p^{t-1} \quad (4)$$

gdzie:

$ZW\zeta_p^t$ – zapas wody łatwo dostępnej w warstwie korzeniowej na początku doby t [mm];

$ZW\zeta_k^{t-1}$, $ZW\zeta_p^{t-1}$ – zapas wody łatwo dostępnej w warstwie korzeniowej na końcu i na początku doby $t-1$ [mm];

P^{t-1} – opad w dobie $t-1$ [mm];

ET_p^{t-1} – ewapotranspiracja potencjalna w dobie $t-1$ [mm].

Potencjalny zapas wody łatwo dostępnej oblicza się, stosując współczynnik dostępności wody p , określający jaka część zapasu wody użytecznej jest łatwo dostępna dla roślin:

$$ZW\check{L} = p \cdot ZWU \quad (5)$$

gdzie:

$ZW\check{L}$ – zapas wody łatwo dostępnej [mm];

p – współczynnik dostępności wody;

ZWU – zapas wody użytecznej [mm]

$$ZWU = ZW_{PPW} - ZW_{WTW} \quad (6)$$

gdzie:

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

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

Zapasy wody użytecznej w glebie zostały określone na podstawie opracowania WALCZAKA i in. [2002].

Współczynnik dostępności wody p zależy od fazy rozwojowej rośliny oraz głębokości korzeni. W modelu zastosowano wartości współczynnika dostępności wody p za DOORENBOSEM i PRUITTEM [1977] oraz za ŁABĘDZKIM [1988; 2006].

Sumaryczny niedobór wody N_d w dekadzie kalendarzowej oblicza się jako:

$$N_d = \sum_{t=1}^{10/11} N^t \quad (7)$$

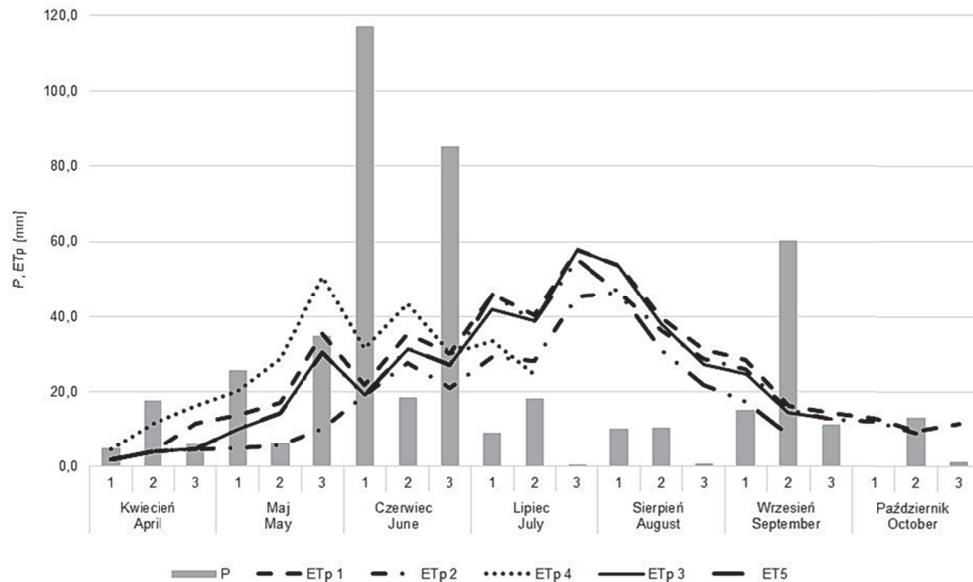
W badaniach rozpatrywano cztery charakterystyczne rodzaje gleb o zróżnicowanych zdolnościach retencyjnych (zapas wody użytecznej ZWU), występujące na Płaskowyżu Proszowickim (numeracja gleb za OSTROWSKIM i ŁABĘDZKIM [2008]):

- nr 1 – rędziny „czyste” ($ZWU = 72$ mm), wytworzone ze zwietrzliny skał wapiennych;
- nr 3 – czarnoziemy ($ZWU = 270$ mm);
- nr 14 – gleby brunatne i płowe, wytworzone z lessów i utworów lessowatych ($ZWU = 255$ mm);
- nr 20 – mady średnie i ciężkie ($ZWU = 158$ mm).

Do badań przyjęto 5 gatunków roślin: burak cukrowy, kapusta, kukurydza na ziarno, pszenica ozima, ziemniak późny. Wrażliwość analizowanych roślin uprawnych na deficyty wody w glebie obejmuje cały okres wegetacyjny, tzn. jego pierwszą (kwiecień, maj, czerwiec) i środkową część (czerwiec, lipiec) oraz koniec (sierpień, wrzesień). Rośliny te są zarazem uważane za ważne gospodarczo, stanowiące ważny element struktury zasiewów.

Wyniki badań i dyskusja

W niniejszym opracowaniu podano przykładowe wyniki dla czterech gleb (rędziny, gleby brunatne i płowe wytworzone z lessów, czarnoziemy, mady), dające pogląd co do wielkości niedoborów wodnych występujących w omawianym regionie. Na rysunku 2. przedstawiono zapotrzebowanie na wodę (ewapotranspirację potencjalną)



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

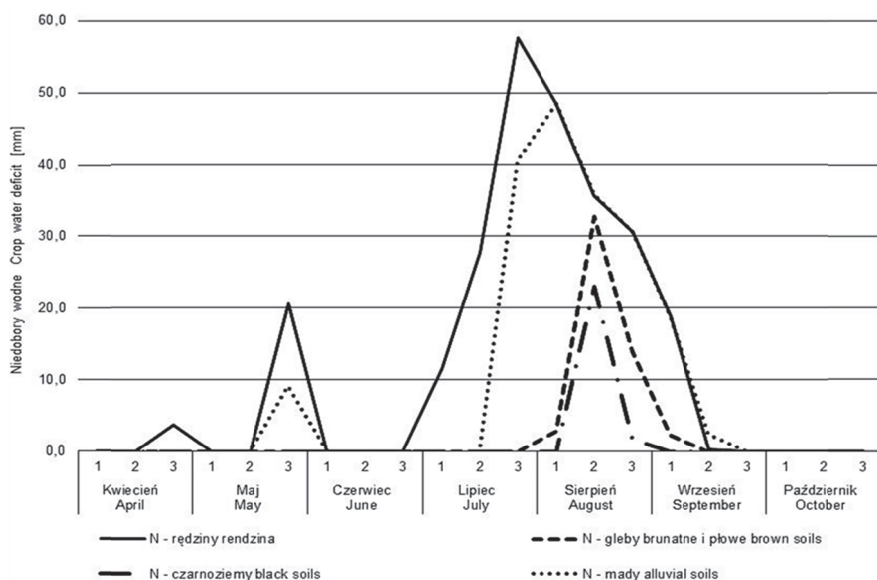
Rys. 2. Dekadowe sumy opadów P (mm) i zapotrzebowanie roślin na wodę ET_p (mm) w 2013 r.; ET_{p1} – burak cukrowy, ET_{p2} – kapusta, ET_{p3} – kukurydza na ziarno, ET_{p4} – pszenica ozima, ET_{p5} – ziemniak późny

Fig. 2. The 10 day precipitation totals P (mm) and crop water requirements (mm) in 2013; ET_{p1} – sugar beet, ET_{p2} – cabbage, ET_{p3} – maize for grain, ET_{p4} – winter wheat, ET_{p5} – late potato

na tle opadów. Suma opadów w okresie od kwietnia do października 2013 r. wyniosła 464 mm. Wartość wskaźnika standaryzowanego opadu SPI ($-0,273$) klasyfikuje ten okres jako przeciętny pod względem warunków opadowych, w odniesieniu do serii pomiarowej opadu z lat 1961–2012 na stacji Kraków-Balice.

Burak cukrowy. Sumaryczne w okresie wegetacji zapotrzebowanie na wodę ET_p buraka cukrowego było duże i wynosiło 533 mm. Niedobory wody w okresie wegetacji wynosiły od 25 (czarnoziemy) do 255 mm (rędziny). Największe dekadowe niedobory wodne wystąpiły w trzeciej dekadzie lipca i sięgały 58 mm na rędzinach (rys. 3). Według OSTROWSKIEGO i ŁABĘDZKIEGO [2008] w analizowanym rejonie na czarnoziemach niedobory wodne buraka cukrowego o prawdopodobieństwie przewyższenia 20 i 50% wynoszą 0–40 mm. Wynika z tego, że na tego typu glebach, o dużych zapasach wody użytecznej (270 mm), w analizowanym regionie prawdopodobieństwo wystąpienia niedoborów wody dla buraka cukrowego jest małe (<20%).

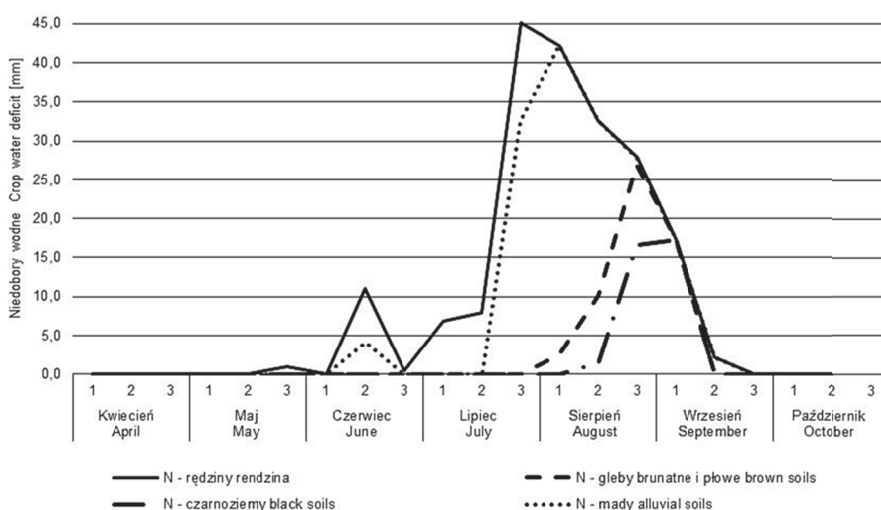
Kapusta. Sumaryczne w okresie wegetacji zapotrzebowanie na wodę ET_p kapusty wynosiło 388 mm. Niedobory wodne w okresie wegetacji wynosiły od 35 mm (czarnoziemy) do 194 mm (rędziny). Największe dekadowe niedobory wodne wystąpiły w trzeciej dekadzie lipca i wynosiły 45 mm na rędzinach (rys. 4). Według KANISZEWSKIEGO [2006], zapotrzebowanie na wodę kapusty późnej wynosi 400–600 mm,



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 3. Niedobory wodne N (mm) buraka cukrowego dla charakterystycznych gleb Płaskowyżu Proszowickiego

Fig. 3. Crop water deficit of sugar beet N (mm) for the characteristic soils of Proszowicki Upland



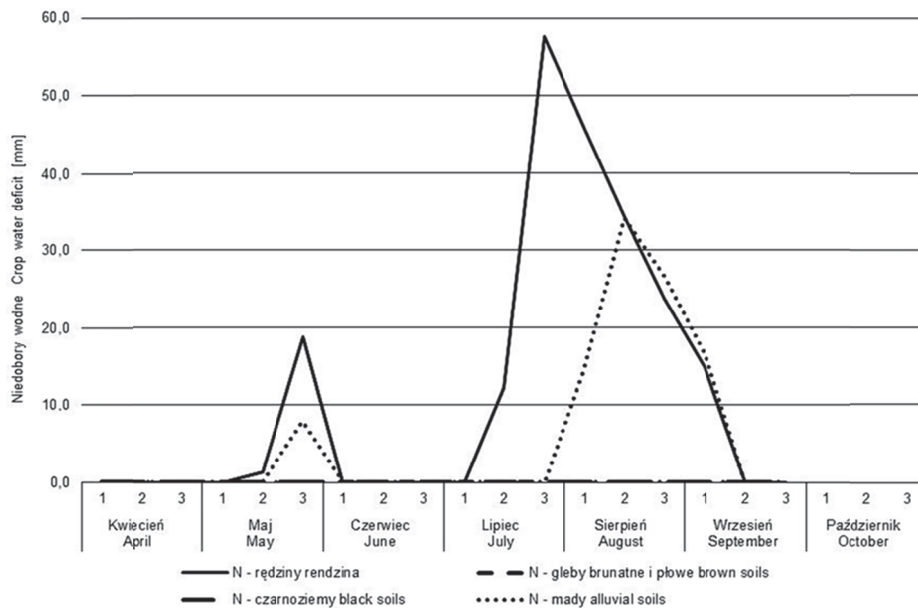
Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 4. Niedobory wodne N (mm) kapusty dla charakterystycznych gleb Płaskowyżu Proszowickiego

Fig. 4. Crop water deficit of cabbage N (mm) for the characteristic soils of Proszowicki Upland

a sezonowa norma nawodnieniowa to 100–200 mm. Wynika z tego, że na glebach o średnich zdolnościach retencyjnych ($ZWU = 150\text{--}160\text{ mm}$) w badanym rejonie kapusta wymaga nawodnień, nawet w latach przeciętnych pod względem ilości opadów.

Kukurydza na ziarno. Sumaryczne w okresie wegetacji zapotrzebowanie na wodę ET_p kukurydzy uprawianej na ziarno wynosiło 452 mm. Niedobory wodne nie wystąpiły na czarnoziemach ($ZWU = 270\text{ mm}$) i glebach brunatnych ($ZWU = 255\text{ mm}$). Największe niedobory wystąpiły na rędzinach o najmniejszych zapasach wody użytkowej ($ZWU = 72\text{ mm}$) i wyniosły sumarycznie ok. 200 mm. Na tej samej glebie wystąpiły największe dekadowe niedobory wodne w trzeciej dekadzie lipca i wyniosły 58 mm (rys. 5). Wyniki te znajdują potwierdzenie na mapach podawanych przez OSTROWSKIEGO i ŁABĘDZKIEGO [2008]. Mapy te pokazują, że w analizowanym rejonie niedobory wodne z prawdopodobieństwem 50% (odpowiadające okresom przeciętnym pod względem opadów) nie przekraczają 40 mm.

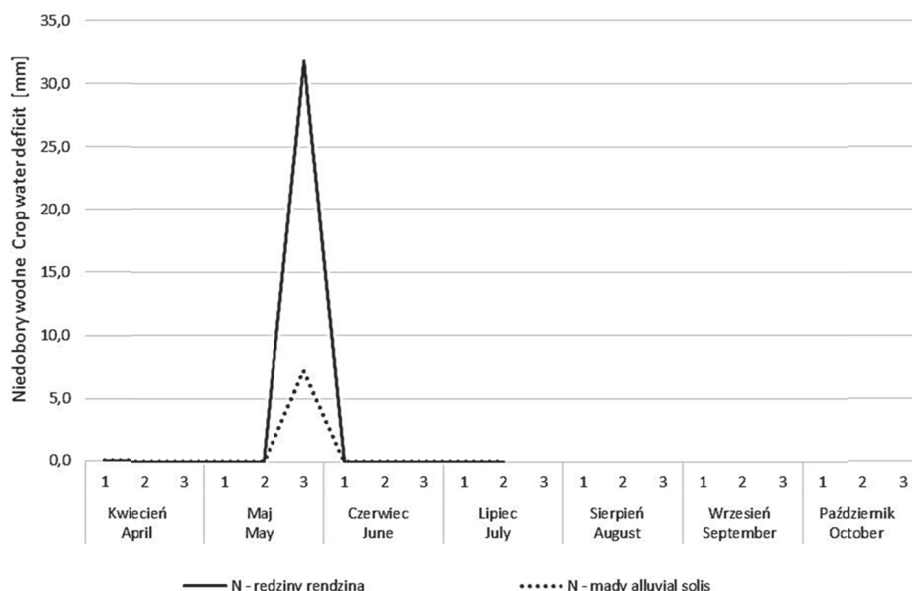


Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 5. Niedobory wodne N (mm) kukurydzy na ziarno dla charakterystycznych gleb Płaskowyżu Proszowickiego

Fig. 5. Crop water deficit of maize for grain N (mm) for the characteristic soils of Proszowicki Upland

Pszenica ozima. Sumaryczne w okresie wegetacji zapotrzebowanie na wodę ET_p pszenicy ozimej wynosiło 295 mm. Na czarnoziemach i glebach brunatnych na Płaskowyżu Proszowickim nie wystąpiły niedobory wody dla pszenicy ozimej. Na madach niedobory wystąpiły w 3. dekadzie maja. Na rędzinach niedobory wynosiły sumarycznie 32 mm (rys. 6). Według OSTROWSKIEGO i ŁABĘDZKIEGO [2008], w analizowanym rejonie niedobory wodne z prawdopodobieństwem 50% (odpowiadające



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

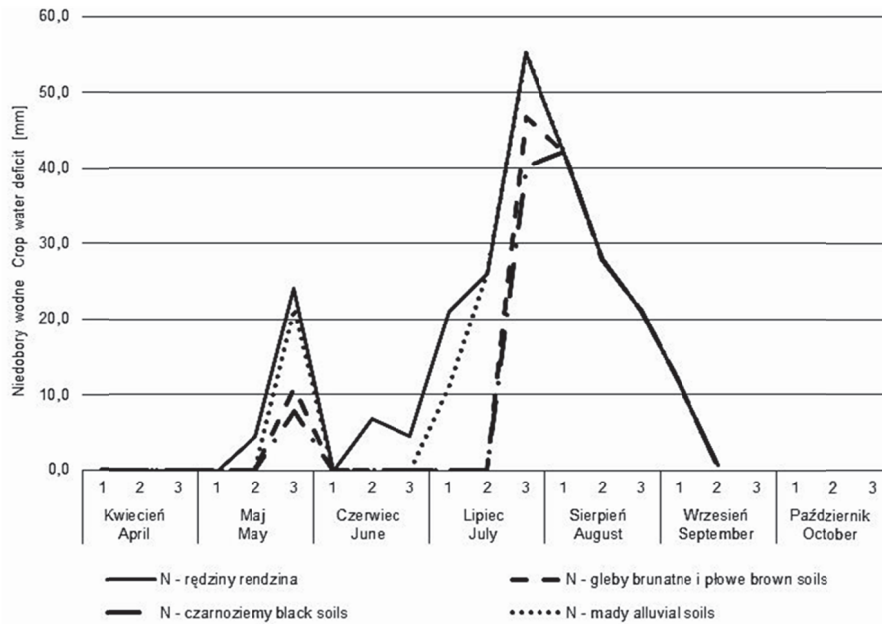
Rys. 6. Niedobory wodne N (mm) pszenicy ozimej dla charakterystycznych gleb Płaskowyżu Proszowickiego

Fig. 6. Crop water deficit of winter wheat N (mm) for the characteristic soils of Proszowicki Upland

okresom przeciętnym pod względem opadów) wynoszą na rędzinach ok. 40 mm, a na pozostałych analizowanych glebach – nie występują. Stwierdzony brak niedoborów wodnych w przeciętnym pod względem opadów 2013 r., znajduje potwierdzenie we wcześniejszych badaniach, które wskazują na brak potrzeb nawadniania pszenicy ozimej na glebach lekkich i średnich w latach przeciętnych w Polsce [ŻARSKI 2006].

Ziemniak późny. Sumaryczne w okresie wegetacji zapotrzebowanie na wodę ET_p ziemniaka późnego wynosiło 409 mm. Niedobory wodne ziemniaka późnego w okresie wegetacji wynoszą od 150 mm (czarnoziemy) do 245 mm (rędziny). Podobnie jak w przypadku pozostałych roślin, największe dekadowe niedobory wodne wystąpiły w trzeciej dekadzie lipca i osiągnęły maksymalną wartość (55 mm) na rędzinach (rys. 7).

Wprawdzie według OSTROWSKIEGO i ŁABĘDZKIEGO [2008] analizowane gleby nie są predestynowane do uprawy ziemniaków, jednak w 2013 r. ziemniak późny był na nich uprawiany. OSTROWSKI i ŁABĘDZKI [2008] pokazują, że w analizowanym rejonie niedobory wodne z prawdopodobieństwem 50% (odpowiadające okresom przeciętnym pod względem opadów) wynoszą 80–120 mm na rędzinach „mieszanych” oraz glebach brunatnych rdzawych i bielcowych, wytworzonych z piasków słabo gliniastych i gliniastych lekkich. Stwierdzone większe niedobory wodne w przeciętnym 2013 r. były spowodowane rozkładem w czasie opadów w tym roku, odbiegają-



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 7. Niedobory wodne N (mm) ziemniaka późnego dla charakterystycznych gleb Płaskowyżu Proszowickiego

Fig. 7. Crop water deficit of winter wheat N (mm) for the characteristic soils of Proszowicki Upland

cym od przeciętnego z wielolecia. W lipcu i sierpniu wystąpiły bardzo małe opady, znacznie mniejsze od średnich z wielolecia, co spowodowało wystąpienie niedoborów wody głównie w tym okresie. Jest to okres krytyczny pod względem zapotrzebowania na wodę, w którym ziemniak potrzebuje najwięcej wody i jest najbardziej wrażliwy na jej niedobór [NOWAK 2006].

Podsumowanie

Największe niedobory wody w analizowanym 2013 r. stwierdzono w uprawie ziemniaka późnego. W przypadku wszystkich badanych roślin, z wyjątkiem pszenicy ozimej, największe niedobory wodne wystąpiły na glebach lekkich. Dekadowe niedobory wodne dla danej rośliny uprawnej na glebach lekkich (rędziny) są o 20–30 mm większe niż na glebach ciężkich – brunatnych i płowych. Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze badania o całkowitym braku celowości nawadniania zbóż w tym regionie na glebach nie tylko ciężkich, ale też lżejszych.

Obserwacje przeprowadzone w rejonie Płaskowyżu Proszowickiego wykazały celowość stosowania automatycznego monitoringu meteorologicznego. Bieżący monitoring udowodnił, że rolniczo-klimatyczny bilans wody, stosowany często w Polsce bez uwzględniania retencji wodnej gleb, jest mało dokładny i niewystarczający do wyznaczania niedoborów wodnych roślin uprawnych. Badania wykazały przy-

datność automatycznego monitoringu meteorologicznego i modelowania matematycznego do bieżącej oceny zapotrzebowania roślin uprawnych na wodę i jej niedoborów. Może on służyć jako narzędzie wspomagające prowadzenie nawodnień w tym regionie.

W publikacji wykorzystano dane uzyskane w trakcie realizacji działania 1.2 „Monitoring, prognoza przebiegu i skutków oraz ocena ryzyka wystąpienia deficytu i nadmiaru wody na obszarach wiejskich” programu wieloletniego pt. „Standaryzacja i monitoring przedsięwzięć środowiskowych, techniki rolniczej i rozwiązań infrastrukturalnych na rzecz bezpieczeństwa i zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich”, realizowanego przez Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w latach 2011–2015, finansowanego przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Bibliografia

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. ISBN92-5-104219-5 ss. 300.

BAC S., ROJEK M. 1982. Klimatyczne podstawy bilansów wodnych w Polsce. W: Agroklimatyczne podstawy melioracji wodnych w Polsce. Pr. zbior. Red. S. Bac. Warszawa. PWRiL s. 76–133.

DOORENBOS J., KASSAM A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 33. Rome. FAO. ISBN 92-5-100744-6 ss. 176.

DOORENBOS J., PRUITT W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 24. Rome. FAO. ISBN 92-5-100279-7 ss. 156.

DRUPKA S. 1975. Wytyczne lokalizacji deszczowni rolniczych do nawadniania wodą czystą. Biuletyn Informacyjny Melioracje Rolne. Nr 1 s. 1–7.

DRUPKA S. 1976. Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. Warszawa. PWRiL ss. 310.

DRUPKA S., KRYŃSKA D., KUŹNIAR A. 1997. Klimatyczno-rolnicze kryteria oceny potrzeb nawadniania w Polsce. W: Woda, jako czynnik warunkujący wielofunkcyjny i zrównoważony rozwój wsi i rolnictwa. Materiały Seminaryjne. Nr 36. Falenty. Wydaw. IMUZ s. 9–18.

DYNOWSKA L., MACIEJEWSKI M. 1991. Dorzecze Górnej Wisły. Warszawa–Kraków. PWN. ISBN 83-01-10317-5 ss. 341.

DZIEŻYC J., NOWAK L., PANEK K. 1987. Średnie regionalne niedobory opadów i potrzeby deszczowania roślin uprawnych na glebach lekkich i średnich. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 314 s. 35–48.

GRABARCZYK S. 1987. Efekty, potrzeby i możliwości nawodnień deszczownianych w różnych regionach kraju. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 314 s. 49–64.

KANISZEWSKI S. 2006. Nawadnianie warzyw. W: Nawadnianie roślin. Pr. zbior. Red. S. Karczmarczyk, S.L. Nowak. Warszawa. PWRiL s. 295–332.

KOWALCZYK A., SMOROŃ S. 2013. Zagrożenie erozją wodną na obszarach lessowych Małopolski na przykładzie zlewni Ścieklec. Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie. T. 13. Z. 4(44) s. 55–63.

KRYSZAN C. 1986. Rozkład przestrzenny niedoborów wodnych na terenie Polski. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 268 s. 37–45.

- ŁABĘDZKI L. 1988. Model matematyczny krótkoterminowej prognozy zapotrzebowania wody do nawodnień. Praca doktorska. Maszynopis. Falenty. IMUZ ss.138.
- ŁABĘDZKI L. 1996. Niedobory wodne upraw rolniczych jako wskaźnik potrzeb małej retencji. W: Potrzeby i możliwości zwiększenia retencji wodnej na obszarach wiejskich. Materiały Seminaryjne. Nr 37. Falenty. Wydaw. IMUZ s. 34–62.
- 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., BAŁ 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. ISBN 978-83-61875-1 ss. 137.
- ŁABĘDZKI L., KANECKA-GESZKE E., BAŁ 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.
- MATUL K., DWORSKA M. 1972. Rozkład wskaźników parowania potencjalnego i opadów w latach 1948–1962 jako podstawa do obliczeń niedoborów wodnych roślin. Prace i Studia Komitetu Gospodarki i Inżynierii Wodnej. Nr 11 s. 9–205.
- NOWAK L. 2006. Nawadnianie roślin okopowych. W: Nawadnianie roślin. Pr. zbior. Red. S. Karczmarczyk, S.L. Nowak. Warszawa. PWRiL s. 367–381.
- OSTROWSKI J. 1996. Baza danych glebowo-kartograficznych – struktura i użytkowanie. W: Systemy informacji przestrzennej. Pr. zbior. Red. J. Gaździcki, E. Musiał. Materiały VI Konferencji Naukowo-Technicznej. Warszawa. PTIP s. 471–480.
- 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.
- ROGUSKI W., SARNACKA S., DRUPKA S. 1988. Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. Materiały Instruktażowe. Nr 66. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISSN 0860-0813 ss. 90.
- ROJEK M. 1987. Rozkład czasowy i przestrzenny klimatycznych i rolniczo-klimatycznych bilansów wodnych na terenie Polski. Zeszyty Naukowe AR Wrocław. Nr 62. ISSN 0209-1321 ss. 67.
- ROJEK M. 1990. Ocena ilościowa parowania terenowego wybranych roślin na podstawie współczynników roślinnych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 390 s.77–90.
- ŚLUSARCZYK E. 1979. Określenie retencji użytecznej gleb mineralnych do prognozowania i projektowania nawodnień. Melioracje Rolne. Nr 10. Z. 3 s. 1–4.
- SMOROŃ S. 2012. Zagrożenie eutrofizacją wyżyn lessowych Małopolski. Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 1(37) s. 181–191.
- WALCZAK R., OSTROWSKI J., WITKOWSKA-WALCZAK B., STAWIŃSKI C. 2002. Hydrofizyczne charakterystyki mineralnych gleb ornycy Polski. Acta Agrophysica. Monographiae. Nr 79. ISSN 1234-4125 ss. 64.
- ŻARSKI J. 2006. Potrzeby i efekty nawadniania zbóż. W: Nawadnianie roślin. Pr. zbior. Red. S. Karczmarczyk, S.L. Nowak. Warszawa. PWRiL s. 383–403.

Agnieszka Kowalczyk, Antoni Kuźniar, Leszek Łabędzki

**OPERATIONAL ASSESSMENT OF CROP WATER REQUIREMENTS
AND DEFICITS USING AUTOMATIC METEOROLOGICAL MONITORING
AND MATHEMATICAL MODELLING**

Summary

The objective of the paper was to assess the ten-day crop water requirements and water deficits of the plants and their variability, depending on the water retention capacity of soils in the Proszowice Upland. The automatic meteorological monitoring was applied and the observational data from the meteorological station located in Proszowice/Opatkowice were used. Research was conducted on the five plant species: sugar beet, cabbage, maize for grain, winter wheat, and late potato for the four types of soils present on the Proszowice Upland with different water storage capacities. The estimation of crop water requirements and deficits was made by applying the CROPBALANCE model, using the daily measured values of the meteorological elements. In the year under considerations the highest water shortages were found for late potato crops. For all the studied plants, with the exception of winter wheat, the largest water shortages occur on light soils. The study confirmed the high variability of the soil and vegetation cover in the Proszowice Upland and showed the usefulness of automatic meteorological monitoring and mathematical modelling for operational assessment of current water needs and deficits of crops.

Key words: meteorological monitoring, crop water requirement, deficits, Proszowice Upland

Adres do korespondencji:

Agnieszka Kowalczyk
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie
ul. Ulanów 21B, 31-450 Kraków
tel. 12 411-81-48; e-mail: a.kowalczyk@itp.edu.pl