

AGROKLIMATYCZNE UWARUNKOWANIA POTRZEB MELIORACJI NAWADNIAJĄCYCH

Leszek Łabędzki¹

¹ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy, ul. Glinki 60, 85-174 Bydgoszcz, e-mail: l.labedzki@itp.edu.pl

STRESZCZENIE

W pracy dokonano przeglądu dotychczas stosowanych w Polsce metod i kryteriów oceny potrzeb melioracji nawadniających dla celów planistycznych, oceny dokonywanej ze względu na uwarunkowania agroklimatyczne oraz z uwzględnieniem retencji wodnej gleb. Potrzeby nawadniania określa się najczęściej biorąc pod uwagę niedobory wody roślin uprawnych. Jest to wielkość, która charakteryzuje niedobór opadów w stosunku do zapotrzebowania na wodę roślin uprawnych. Niektóre stosowane metody wykorzystują tylko parametry meteorologiczne, determinujące stan układu atmosfera-gleba-roślina, a niektóre uwzględniają również retencję wodną gleb i jej dostępność dla roślin.

Słowa kluczowe: nawodnienia, agroklimat, klimatyczny bilans wodny.

AGROCLIMATIC DETERMINANTS OF IRRIGATION NEEDS

ABSTRACT

The paper is a review of the so far used in Poland methods and criteria for assessing the needs of irrigation for planning purposes, the assessment because of the agroclimatic conditions and taking into account the soil water retention. Irrigation needs of the most are determined taking into account crop water deficits. This is the factor that is characterized by a shortage of precipitation in relation to the water requirements of crops. Some methods use only the meteorological parameters that determine the state of the atmosphere-soil-plant system, and some also take into account soil water retention and its availability for plants.

Keywords: irrigation, agroclimate, climatic water balance.

WSTĘP

Polska leży w przejściowym klimacie strefy umiarkowanej. W klimacie takim występuje znaczna zmienność elementów meteorologicznych w poszczególnych latach i miesiącach. Zmienność przede wszystkim opadów atmosferycznych powoduje występowanie niedoboru lub nadmiaru wody w różnej skali czasowej i przestrzennej, wywołujące ujemne skutki w rolnictwie, zwłaszcza w produkcji roślinnej. W takich warunkach regulacja stosunków powietrzno-wodnych gleby wywiera decydujący wpływ na efektywność wykorzystania energii słonecznej i innych agroklimatycznych czynników produkcyjnych rolnictwa.

W ostatnich latach obserwuje się większe nasilenie częstości występowania tych niekorzyst-

nych zjawisk i ich skutków w rolnictwie. Skutecznie można przeciwdziałać negatywnym skutkom niedoborów opadów i będącym ich następstwami suszom w rolnictwie między innymi przez melioracje nawadniające. Ocena potrzeb melioracji nawadniających wymaga uwzględnienia czynnika klimatycznego jako pierwotnego i jednego z najważniejszych. Ustalenie potrzeb melioracji nawadniających wymaga ocen wpływu klimatu i pogody na stosunki wodne gleb. Inaczej można to ująć w stwierdzeniu, że czynniki klimatyczne determinują w odpowiednim zakresie potrzeby melioracji. Z powyższego stwierdzenia wyprowadzono na potrzeby obecnego opracowania definicję agroklimatycznych uwarunkowań potrzeb melioracji. Przyjęto, że uwarunkowania te oznaczają te czynniki środowiska atmosferycznego,

które determinują potrzeby melioracji nawadniającej w obszarze użytkowanym rolniczo.

Potrzeby nawadniania określa się najczęściej biorąc pod uwagę niedobory wody roślin uprawnych. Jest to wielkość, która charakteryzuje niedobór opadów w stosunku do zapotrzebowania na wodę roślin uprawnych z uwzględnieniem lub bez retencji wodnej gleb. Prace badawcze nad niedoborami wodnymi roślin uprawnych i użytków zielonych są prowadzone w Polsce od wielu lat. W opracowaniu przedstawiono przegląd dotychczas stosowanych w Polsce metod i kryteriów oceny potrzeb melioracji nawadniających dla celów planistycznych, oceny dokonywanej ze względu na uwarunkowania agroklimatyczne oraz z uwzględnieniem retencji wodnej gleb.

METODY I KRYTERIA

Do końca lat 80. XX wieku niedobory wodne roślin uprawnych 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. Pierwsze prace, które stanowiły podstawę dla określania niedoborów wodnych dla lokalizacji deszczowni to publikacje Matuła i Dworskiej [1972]. Opracowali oni rozkład czasowo-przestrzenny wskaźnika będącego stosunkiem parowania potencjalnego do opadów jako podstawa do obliczeń niedoborów wodnych w okresie wegetacyjnym. Drupka [1975, 1976] na podstawie izolinii stosunku parowania potencjalnego do sumy opadów atmosferycznych (wskaźnik Stenzy) wydzielił cztery strefy klimatyczne zróżnicowanej celowości stosowania nawodnień deszczownianych w rolnictwie. Kryteria lokalizacji deszczowni opracowane przez Drupkę są do tej pory zalecane dla praktyki melioracyjno-rolniczej jako wytyczne Ministerstwa Rolnictwa. Bac i Rojek [1982] opracowali mapy tendencji agroklimatycznych w Polsce, opierając się tylko na klimatycznym bilansie wodnym, ale bez uwzględniania retencji wodnych gleb. Według tych map rejony o niedoborach w granicach od -20 do -30 mm zajmują około 2/3 terenu Polski. Do oceny niedoborów dla potrzeb nawadniania stosowano też niedobory opadów w okresach krytycznych ważniejszych roślin uprawnych, obliczone na podstawie różnic między dekadowymi potrzebami opa-

dowymi 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 wodne uwzględnił tzw. efektywną retencję użyteczną, przyjmując trzy wskaźnikowe wartości zdolności retencyjnej gleb ($ERU = 50, 70, 100$ mm).

Grabarczyk [1987] opracował podział Polski na regiony zróżnicowania celowości instalacji deszczowni, biorąc pod uwagę sumy opadów okresu wegetacyjnego i kompleksy gleb. Dzieżyc i in. [1987] wyznaczyli regionalne niedobory opadów i potrzeby deszczowania dla gleb lekkich i średnich. Od wielu lat do ustalania niedoborów wodnych stosowana jest metodyka Roguskiego i in. [1988], w której wartości zapasów wody łatwo dostępnej w poszczególnych gatunkach gleb są przyjmowane według danych Ślusarczyka [1979] lub określane na podstawie krzywej retencji. Tak uwzględniana retencja wodna gleb w istotny sposób rzutuje na poziom szacowanych niedoborów wodnych i trafność prognozowania wody potrzebnej do nawodnień. Według tej metodyki Łabędzki [1996] wyznaczył niedobory wodne wybranych roślin polowych i użytków zielonych dla 49 województw w Polsce, dla oceny prawdopodobnych braków wody w produkcji roślinnej. Autor ten oparł się na równaniu bilansowym uwzględniającym opady, ewapotranspirację potencjalną roślin oraz efektywną retencję użyteczną gleb.

W późniejszych latach opublikowano wiele wyników badań nad niedoborami wodnymi roślin uprawnych zarówno w aspekcie czasowym, jak i przestrzennym [np. Dzieżyc 1989, Kowalik 1989, Koźmiński i Michalska 2001, Drupka i in. 1997, Łabędzki 1997, Kuźniar 2001, Karczmarczyk i Nowak 2006].

Za istotny przełom w zakresie szacowania niedoborów wodnych roślin można uznać opublikowanie przez Instytut Agrofizyki PAN oraz Instytut Melioracji i Użytków Zielonych monografii, podsumowującej wyniki systematycznych badań zdolności retencyjnych mineralnych gleb ornych w skali kraju [Walczak i in. 2002] i zawierającej reprezentatywne wartości zasobów wody użytecznej, łatwo dostępnej i trudno dostępnej dla roślin w ważniejszych mineralnych glebach ornych wraz z kartograficzną prezentacją ich przestrzennego rozmieszczenia w Polsce. Fakt ten oraz utworzenie w IMUZ bazy danych glebowo-kartograficznych [Ostrowski 1996] i opraco-

wanie procedury wyznaczania izolinii niedoborów wodnych i komputerowego generowania ich kartograficznego zobrazowania, stworzyły nowe możliwości w zakresie doskonalenia prognozowania niedoborów wodnych, rzutujących na ograniczenie plonowania poszczególnych roślin uprawianych na najbardziej przydatnych pod te uprawy glebach ornym. Realizacja tego przedsięwzięcia w ramach komputerowego systemu informacji przestrzennej stworzyła szanse dla opracowania atlasu z zestawem map lokalizujących oszacowane niedobory wodne 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 [Ostrowski i in. 2008] prezentuje przestrzenną zmienność niedoborów wodnych dla wybranych roślin uprawnych i użytków zielonych w powiązaniu z glebami występującymi na terenie Polski. Prezentowane w atlasie szacowane wartości glebowych niedoborów wodnych wskazują na potrzebę stosowania nawodnień.

W odniesieniu do siedlisk trwałych użytków zielonych, dokonując oceny potencjalnych potrzeb nawadniania, stwierdzono, że niedobory wodne i potrzeby nawodnień użytków zielonych są nierozzerwalnie związane z warunkami wodnymi siedlisk, w których te użytki występują [Łabędzki 1997]. Warunki te wynikają ze sposobu dopływu i występowania wody w siedlisku, uzależnionych od położenia siedliska, ukształtowania powierzchni oraz warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych terenu, na którym dane siedlisko się znajduje. Nawodnień będą wymagać użytki zielone położone w tych siedliskach, w których bilans wodny jest ujemny (rozchód wody jest większy od przychodu). W bilansie takim po stronie przychodu występuje opad, zasilanie siedliska wodami gruntowymi i powierzchniowymi (dopływającymi spoza siedliska), a po stronie rozchodu - odpływ i ewapotranspiracja. Charakteryzując warunki wodne siedliska należy rozróżnić zasilanie wodami z zewnątrz oraz zasilanie warstwy korzeniowej użytków zielonych przez wody gruntowe drogą podsiąku kapilarnego ze zwierciadła wody gruntowej. W związku z tym ocena potrzeb nawadniania wynikająca z bilansu wodnego siedliska może być w niektórych przypadkach modyfikowana przez właściwości podsiąkowe i retencyjne gleb. Właściwości podsiąkowe gleb określa ilość wód gruntowych zasilających warstwę korzeniową i wykorzystywanych

na ewapotranspirację, a właściwości retencyjne – zdolność do zatrzymywania wody opadowej.

Zgodnie z podziałem typologicznym łąk niżowych (0–300 m npm) [Grzyb, Prończuk 1995] wyróżnia się cztery grupy łąk: łągi, grądy, bielawy i murszowiska. Grupy te charakteryzują się zróżnicowanymi warunkami siedliskowymi wynikającymi z położenia, ukształtowania terenu, rodzaju gleb oraz ich właściwości i troficzności, szaty roślinnej i potencjału produkcyjnego, warunków wodnych obejmujących warunki zasilania, wahania wód gruntowych oraz dynamikę uwilgotnienia w okresie wegetacji. Na podstawie warunków wodnych panujących w tych siedliskach oraz wieloletnich obserwacji rozwoju roślinności i plonowania stwierdzono [Łabędzki 1997], że łągi są siedliskami o dodatnim bilansie wodnym, nie wymagającymi nawodnień. Jedynie łągi zgrądowiałe mogą okresowo wykazywać oznaki posuszenia i niewielkie niedobory wody. Grądy to siedliska o bardzo zróżnicowanych warunkach wodnych: mogą być okresowo nadmiernie uwilgotnione (grądy podmokłe), umiarkowanie uwilgotnione (grądy popławne) lub okresowo za suche (grądy właściwe) i trwałe za suche (grądy zubożałe). Grądy zubożałe i właściwe mogą wymagać nawodnień. Bielawy zasilane są wodami opadowymi, zalewowymi i gruntowymi, powodującymi duże i nadmierne uwilgotnienie i nie wymagają nawodnień. Murszowiska (siedliska łąk murszowiskowych) zasilane są przede wszystkim wodami opadowymi, a w nielicznych przypadkach wodami gruntowymi w bardzo małej ilości. Użytki zielone położone w tych siedliskach wymagają nawodnień, których skala zależności będzie od wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych, kształtowania się warunków meteorologicznych w okresie wegetacji, właściwości fizyczno-wodnych gleb oraz głębokości zalegania wody gruntowej.

Okruszko [1986, 1992], w odniesieniu do trwałych użytków zielonych, dokonał podziału siedlisk hydrogenicznych na podstawie kryterium warunków wilgotnościowych panujących w siedlisku. Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe wydzielono przez połączenie prognostycznych kompleksów wilgotnościowo-glebowych [Okruszko 1988] i typów hydrologicznego zasilania informujących o sposobie dopływu i występowania wody w siedlisku.

Potrzeby nawodnień użytków zielonych w siedliskach hydrogenicznych zależą od – poza opadami – zróżnicowanych zasobów wodnych

tych siedlisk i dostępności wody dla roślin, kształtowanych przez wody gruntowe zasilające siedlisko oraz właściwości fizyczno-wodnych (podsiąkowych i retencyjnych) gleb występujących w siedlisku. Szuniewicz i in. [1992] przeprowadzili ocenę zasobów wodnych w poszczególnych siedliskach hydrogenicznym przez ustalenie w nich dyspozycyjnych zapasów wody użytecznej z uwzględnieniem retencji pulsacji i zasilania dopływem gruntowym. Wykorzystując podane przez tych autorów zapasy wody łatwo dostępnej oraz zasilanie dopływem gruntowym przeprowadzono ocenę tych siedlisk pod kątem potencjalnych potrzeb nawodnień użytków zielonych. W tym celu oszacowano niedobory wodne przez zbilansowanie niedoboru opadu w stosunku do ewapotranspiracji i dyspozycyjnych zapasów wody użytecznej. Przyjęto średnią sumę opadów w okresie wegetacji na obszarze Polski nizinnej równą 400 mm [Lorenc 2005] oraz ewapotranspirację łąki plonującej na poziomie około $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ wynoszącą 600 mm. Wobec tego niedobór opadu wynosi 200 mm. Dyspozycyjne zapasy wody użytecznej równe są sumie zapasu wody łatwo dostępnej i zasilania dopływem gruntowym wodą dopływającą spoza siedliska. W zależności od potrzebnych dyspozycyjnych zapasów wody użytecznej (*DZWU*) niezbędnych do pokrycia niedoboru opadu przyjęto następującą skalę ocen potrzeb nawadniania użytków zielonych w tych siedliskach:

- $DZWU \geq 200 \text{ mm}$ – nawadnianie zbędne,
- $150 \text{ mm} \leq DZWU < 200 \text{ mm}$ – potrzeby nawodnień małe (netto < 50 mm),
- $100 \text{ mm} \leq DZWU < 150 \text{ mm}$ – potrzeby nawodnień średnie (netto 50–100 mm),

- $DZWU < 100 \text{ mm}$ – potrzeby nawodnień duże (netto > 100 mm).

Potencjalne hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe mają bardzo zróżnicowane potrzeby nawadniania (tab. 1). Zróżnicowanie to wynika z charakteru i wielkości zasilania siedliska wodami gruntowymi (typ hydrologicznego zasilania) oraz właściwości retencyjno-podsiąkowych gleb występujących w siedlisku (prognostyczne kompleksy wilgotnościowo-glebowe). W siedliskach naporowych i wyciekowych nawadnianie jest zbędne albo potrzeby nawodnień są niewielkie (siedliska wyciekowe wilgotne, okresowo posuszne i posuszne). W siedliskach podsiąkowych na glebach kompleksu mokrego i okresowo mokrego nie ma potrzeby nawadniania. Największe potrzeby nawodnień mogą występować w siedliskach podsiąkowych i zalewanych na glebach kompleksu posusznego, okresowo suchego i suchego, zwłaszcza na glebach mineralno-organicznych i mineralnych. Siedliska te wymagają intensywnych nawodnień wodą doprowadzoną spoza siedliska.

Przedstawione wyżej podział i charakterystyka siedlisk użytków zielonych pod kątem oceny potrzeb ich nawadniania mogą być przydatne do planowania i projektowania systemów nawodnień w tych siedliskach, prowadzenia na nich właściwej gospodarki wodnej oraz racjonalnego użytkowania tych siedlisk.

Najnowszym opracowaniem w zakresie agroklimatycznych uwarunkowań potrzeb melioracji nawadniających jest praca Łabędzkiego [2014]. Do oceny klimatycznych uwarunkowań potrzeb rozwoju melioracji przyjęto klimatyczny bilans

Tabela 1. Potrzeby nawadniania trwałych użytków zielonych

Table 1. Irrigation needs of permanent grassland

Gleby organiczne						Gleby mineralno-organiczne i mineralne			
A	AB	B	BC	C	CD	BC	C	CD	D
Siedliska soligeniczne naporowe (N)									
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Siedliska soligeniczne wyciekowe (W)									
–	–	*	*	*	–	–	–	–	–
Siedliska topogeniczne podsiąkowe (P)									
–	–	*	**	**	**	**	***	***	***
Siedliska fluwiogeniczne zalewane (Z)									
–	–	*	*	**	**	**	***	***	***

Objaśnienia: --- nawadnianie zbędne; * – potrzeby nawodnień małe (netto < 50 mm); ** – potrzeby nawodnień średnie (netto 50–100 mm); *** – potrzeby nawodnień duże (netto > 100 mm); A – mokre, AB – okresowo mokre, B – wilgotne, BC – okresowo posuszne, C – posuszne, CD – okresowo suche, D – suche

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Łabędzki 1997]; source: own elaboration on the basis of [Łabędzki 1997]

wodny, zwany również klimatycznym niedoborem lub nadmiarem opadów, będący różnicą między sumą opadów i sumą ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczaną metodą Penmana-Monteitha. Klimatyczny bilans wodny jest tylko jednym z czynników warunkujących rozwój melioracji i może wskazywać na potencjalne potrzeby melioracji nawadniających lub odwadniających. Na podstawie tego parametru można wydzielić obszary o ujemnym klimatycznym bilansie wodnym, na których występuje niedobór opadów w stosunku do ewapotranspiracji wskaźnikowej lub obszary o dodatnim klimatycznym bilansie wodnym, na których występuje nadmiar opadów w stosunku do ewapotranspiracji. W odniesieniu do okresu wegetacyjnego (kwiecień-wrzesień), ujemny klimatyczny bilans wodny wskazuje na potencjalne zagrożenie niedoborem wody i na potrzebę rozwoju melioracji nawadniających.

Na podstawie analizy wieloletnich danych o wielkości klimatycznego bilansu wodnego na obszarze Polski [Kasperska-Wołowicz, Łabędzki 2006; Łabędzki i in. 2011, 2014], do oceny uwarunkowań klimatycznych rozwoju melioracji nawadniających na podstawie klimatycznego bilansu wodnego, opracowano dla okresu wegetacyjnego (kwiecień – wrzesień) klasyfikację 4-stopniową dla okresów miesięcznych i 5-stopniową dla całego okresu. W każdej klasyfikacji ustalono przedziały klimatycznego bilansu wodnego dla każdej klasy i ustalono słowne określenia klas klimatycznego bilansu wodnego oraz potrzeb melioracji nawadniających (tab. 2, 3).

PODSUMOWANIE

Za najbardziej istotne parametry agroklimatyczne dla oceny agroklimatycznych uwarunkowań potrzeb melioracji nawadniających należy uznać te, które kwantyfikują układ atmosfera-gleba-roślina w odniesieniu do niedoborów wody.

Czynnik agroklimatyczny jest tylko jednym z wielu czynników warunkujących potrzeby melioracji nawadniających i może wskazywać na potencjalne potrzeby tych melioracji. Jednym z takich czynników jest klimatyczny bilans wodny, czyli różnica między opadem i ewapotranspiracją wskaźnikową. Jest on bardzo ważnym parametrem agrometeorologicznym wskazującym na potencjalny niedobór opadu, który z kolei jest istotnym parametrem w ocenie potrzeb nawadniania terenów rolniczych.

Tabela 2. Klasyfikacja klimatycznego bilansu wodnego *KBW* i oceny potrzeb melioracji nawadniających dla okresów miesięcznych (kwiecień-wrzesień)

Table 2. Classification of climatic water balance *KBW* and irrigation needs assessment for months (April-September)

KBW [mm]	Klasa klimatycznego bilansu wodnego	Potrzeba melioracji nawadniających
<-50	skrajnie niedoborowy	bardzo duża
(-50; -30)	silnie niedoborowy	duża
(-30; -10)	niedoborowy	mała
(-10; 10)	zrównoważony	nie ma

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Łabędzki 2014]; source: own elaboration on the basis of [Łabędzki 2014].

Tabela 3. Klasyfikacja klimatycznego bilansu wodnego *KBW* i oceny potrzeb melioracji nawadniających dla okresu wegetacyjnego (kwiecień-wrzesień)

Table 3. Classification of climatic water balance *KBW* and irrigation needs assessment for the growing period (April-September)

KBW [mm]	Klasa klimatycznego bilansu wodnego	Potrzeba melioracji nawadniających
<-250	skrajnie niedoborowy	bardzo duża
(-250; -200)	silnie niedoborowy	duża
(-200; -150)	umiarkowanie niedoborowy	umiarkowana
(-150; -100)	lekkie niedoborowy	mała
(-100; 100)	zrównoważony	nie ma

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Łabędzki 2014]; source: own elaboration on the basis of [Łabędzki 2014].

O rzeczywistych potrzebach i celowości melioracji nawadniających decyduje jeszcze wiele innych kryteriów i czynników, takich jak warunki glebowe, geomorfologiczne, hydrologiczne, hydrogeologiczne, opłacalność produkcji rolniczej, prawdopodobieństwo wystąpienia deficytów wody, przewidywane zmiany klimatu i in.

LITERATURA

1. 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, 76–133.
2. Drupka S. 1975. Wytyczne lokalizacji deszczowni rolniczych do nawadniania wodą czystą. Biul. Inf. Melioracje Rolne IMUZ, 1, 1–7.
3. Drupka S. 1976. Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. PWRiL Warszawa, ss. 310.

4. 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. Mater. Semin. nr 36. Falenty, Wydaw. IMUZ, 9–18.
5. Dzieżyc J. (red.). 1989. Potrzeby wodne roślin uprawnych. Warszawa PWN, ss. 419.
6. Dzieżyc J., Nowak L., Panek K. 1987. Średnie regionalne niedobory opadów i potrzeby deszczowania roślin uprawnych na glebach lekkich i średnich. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. z. 314, 35–48.
7. Grabarczyk S. 1987. Efekty, potrzeby i możliwości nawodnień deszczownianych w różnych regionach kraju. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. z. 314, 49–64.
8. Grzyb S., Prończuk J. 1995. Podział i waloryzacja siedlisk łąkowych oraz ocena ich potencjału produkcyjnego. Wiad. Melior. i Łąk. nr 3, 110–114.
9. Karczmarczyk S., Nowak L. (red.). 2006. Nawadnianie roślin. Warszawa. PWRiL, 479.
10. Kasperska-Wołowicz W., Łabędzki L., 2006. Climatic and agricultural water balance for grasslands in Poland using the Penman-Monteith method. Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW. Land Reclamation, No. 37, 93–100.
11. Kowalik P. 1989. Relacja między zaopatrzeniem w wodę a plonem roślin. [W:] Potrzeby wodne roślin uprawnych. Pr. zbior. Red. J. Dzieżyc. PWN Warszawa, 36–50.
12. Koźmiński C., Michalska B. 2001. Atlas klimatycznego ryzyka upraw i roślin w Polsce. Szczecin, AR USzcz.
13. Kryszan C. 1986. Rozkład przestrzenny niedoborów wodnych na terenie Polski. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 268, 37–45.
14. Kuźniar A. 2001. Wpływ retencyjności wodnej gleb na niedobory wodne roślin uprawnych. [W:] Produkcyjne zużycie wody przez agrocenozy i jego wpływ na środowisko wodno-glebowe. Mater. Semin. nr 47. Falenty, Wydaw. IMUZ, 54–64.
15. Lorenc H. 2005. Atlas klimatu Polski. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
16. Łabędzki L. 1996. Niedobory wodne upraw rolniczych jako wskaźnik potrzeb małej retencji. [W:] Potrzeby i możliwości zwiększenia retencji wodnej na obszarach wiejskich. Mater. Semin. nr 37. Wydaw. IMUZ, Falenty, 34–62.
17. Łabędzki L. 1997. Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. Rozpr. Habil. Wydaw. IMUZ, Falenty, 121.
18. Łabędzki L. 2014. Klimatyczne uwarunkowania rozwoju melioracji. [W:] E. Kaca (red.) Uwarunkowania rozwoju melioracji wodnych w Polsce. Woda Środowisko Obszary Wiejskie. Rozprawy naukowe i monografie, nr 37, 35–52.
19. 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, 23(6), 2083–2091. DOI: 10.15244/pjoes/27816.
20. 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:] L. Łabędzki (red.) Evapotranspiration. InTech, Rijeka, 275–294.
21. Matul K., Dworska M. 1972. Rozkład wskaźników parowania potencjalnego i opadów w latach 1948-1962 jako podstawa do obliczeń niedoborów wodnych roślin. [W:] Prace i studia Kom. Gosp. i Inż. Wod. nr XI.
22. Okruszko H. 1986. System klasyfikacji i waloryzacji siedlisk na glebach hydrogenicznych. Mater. Semin. nr 21 Wydaw. IMUZ, Falenty, ss. 20.
23. Okruszko H. 1988. Zasady podziału gleb hydrogenicznych na rodzaje oraz łączenia rodzajów w kompleksy. Roczn. Gleb. t. 39 z. 1, 127–152.
24. Okruszko H. 1992. Siedliska hydrogeniczne, ich specyfika i zróżnicowanie. [W:] Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe. Bibl. Wiad. IMUZ nr 79, 5–14.
25. Ostrowski J. 1996. Baza danych glebowo-kartograficznych – struktura i użytkowanie. [W:] Systemy informacji przestrzennej. Mater. 6 Konf. Nauk.-Tech. PTIP, Warszawa, 471–480.
26. 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, 19 + 32 mapy.
27. Roguski W., Sarnacka S., Drupka S. 1988. Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. Mater. Instr. nr 66. IMUZ Falenty, ss. 43 + zał.
28. Szuniewicz J., Churska C., Churski T. 1992. Potencjalnie hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe i ich zróżnicowanie pod względem dyspozycyjnym zapasów wody użytecznej. [W:] Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe. Bibl. Wiad. IMUZ, nr 79, 69–93.
29. Ślusarczyk E. 1979. Określenie retencji użytecznej gleb mineralnych do prognozowania i projektowania nawodnień. Melior. Rol. nr 10, z. 3, 1–4.
30. Walczak R., Ostrowski J., Witkowska-Walczak B., Stawiński C. 2002. Hydrofizyczne charakterystyki mineralnych gleb ornych Polski. Acta Agrophys. Monogr., nr 79, ss. 64.