

Kryteria oceny realizacji zadań zaopatrzenia w wodę użytkowników rolniczych

Abstract

Criteria for Agricultural users applied in water management balance models. The paper describes current ways of representing water demands of agricultural users which are used in water management balance analysis. Simulation experiments with the use of SWACROP model proved that description of agricultural water demands, in the form of series of mean periodic water demand, is over-simplified. The criteria of time and volume guarantees, maximum duration of water deficit and maximum depth of water deficit are inadequate to assess the degree of implementation of water supply objectives for agricultural users. The authors suggest a new approach that incorporates data on the users current condition while computing agricultural water demands. The paper also presents the rules of cooperation between the submodels of users whose demands depend on their current condition and the water allocation models. The authors suggest linking the criteria assessing the degree of implementation of agricultural water supply objectives with the time variability of the users' condition; for example, for drainage-irrigation systems with the soil moisture content.

Key words: water management balance, criteria, water demands, agricultural users.

W artykule zostały poruszone problemy doboru kryteriów oceny stopnia realizacji zadania zaopatrzenia w wodę użytkowników rolniczych oraz zagadnienia modelowania potrzeb wodnych tego ro-

dzaju użytkowników dla celów bilansów wodnogospodarczych.

W ramach prowadzonych badań podjęto próbę oceny przydatności, zalecanego w „Metodyce jednolitych bilansów wodnogospodarczych” (Hydroprojekt – Warszawa 1992), sposobu reprezentowania w analizach bilansowych użytkowników rolniczych i kryteriów oceny stopnia realizacji zadania zaopatrzenia ich w wodę.

Potrzeby wodne użytkowników rolniczych i kryteria ich zaspokojenia w dotychczasowych analizach bilansowych

Zgodnie z „Metodyką jednolitych bilansów wodnogospodarczych” (Hydroprojekt – Warszawa 1992) potrzeby wodne użytkowników rolniczych opisywane są ciągami średnich okresowych zapotrzebowania na wodę. Potrzeby te dla poszczególnych okresów obliczane są zgodnie z zaleceniami „Instrukcji wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych” (Roguski i in. 1988), na podstawie równania bilansu wodnego profilu glebowego.

W obliczeniach wykorzystywane są dane charakteryzujące rodzaj gleby, spo-

sób jej użytkownika, dane meteorologiczne niezbędne do określenia ewapotranspiracji potencjalnej oraz współczynniki roślinne.

Zgodnie z tą instrukcją potrzeby wodne nawadnianych kompleksów użytków rolnych obliczane są przy założeniu całkowitego pokrycia zapotrzebowania na wodę, zgłaszanego w poprzednich okresach.

W dotychczasowych opracowaniach bilansów wodnogospodarczych (Herbich i Tyszewski 1993; Słota i in. 1994; Hydroprojekt-Warszawa 1994) wykonywanych zgodnie z „Metodyką...”, stopień realizacji zadania zaopatrzenia w wodę oceniany był przy użyciu następujących kryteriów: gwarancja czasowa i objętościowa pokrycia potrzeb wodnych, maksymalny czas trwania ciągłego deficytu oraz maksymalna głębokość deficytu.

Gwarancja czasowa pokrycia średnich okresowych potrzeb wodnych (G_t)

określa stosunek liczby przedziałów czasowych, w których zrealizowano zadanie zaopatrzenia w wodę do liczby okresów, w których zostały zgłoszone potrzeby:

$$G_t = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \gamma_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_{ij}} \quad (1)$$

gdzie:

$$\gamma_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{gdy } X_{ij} < P_{ij} \\ 0, & \text{gdy } X_{ij} = P_{ij} \end{cases}$$

$$\omega_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{gdy } P_{ij} > 0 \\ 0, & \text{gdy } P_{ij} = 0 \end{cases}$$

P_{ij} – średnie okresowe zapotrzebowanie na wodę w j -tym przedziale i -tego roku, [m^3/s];

X_{ij} – średni okresowy pobór wody w j -tym przedziale i -tego roku, [m^3/s];

n – liczba lat objętych analizami bilansowymi;

m – liczba przedziałów czasowych, na jakie podzielono rok.

Gwarancja objętościowa pokrycia potrzeb (G_v)

określa stosunek sumy objętości poborów wody przez użytkownika do sumy objętości zgłoszonych potrzeb:

$$G_v = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta t_{ij} \cdot X_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta t_{ij} \cdot P_{ij}} \quad (2)$$

gdzie:

Δt_{ij} – długość j -tego okresu w i -tym roku, [s].

Maksymalny czas trwania ciągłego deficytu (L_{\max})

Kryterium to określa czas trwania najdłuższego okresu deficytowego mierzony liczbą przedziałów czasowych:

$$L_{\max} = \max \{L_i\}; \quad i = 1, \dots, k \quad (3)$$

gdzie:

k – liczba okresów ciągłego deficytu;

L_i – czas trwania i -tego okresu deficytowego mierzony liczbą przedziałów czasowych.

Maksymalna głębokość deficytu (D_{\max})

Kryterium to określa największy okresowy niedobór wody w rozpatrywanym wieloleciu:

$$D_{\max} = \max \{ D_{ij} \}; \quad i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

$$j = 1, \dots, m$$

gdzie:

D_{ij} – niedobór wody w j -tym okresie i -tego roku, [m^3/s].

Ocena przydatności dotychczas stosowanych kryteriów

Naturalnym wskaźnikiem realizacji zadania zaopatrzenia w wodę użytkowników rolniczych jest przyrost wielkości plonów, uzyskany dzięki stosowaniu nawodnień, przy ustalonych pozostałych warunkach rozwoju roślin. W swoich badaniach autorzy podjęli próbę określenia zależności pomiędzy spadkiem wielkości plonów, spowodowanych niezrealizowaniem harmonogramu nawodnień, a dotychczas stosowanymi w gospodarce wodnej kryteriami (gwarancją czasową i objętościową). W badaniach tych wykorzystano model SWACROP (Wesseling i in. 1989; Kabat i in. 1992), umożliwiający symulowanie przyrostu biomasy roślin w zależności od ilości transpirowanej wody. Model ten wybrano do obliczeń, ponieważ był on szeroko weryfikowany dla warunków polskich (np.: Kowalik 1989; Moszowa 1986).

Badania symulacyjne

Badania prowadzono dla warunków meteorologicznych zlewni rzeki Mławki (zlewnia eksperymentalna IMUZ), którą można uznać za reprezentatywną dla obszaru Wielkich Dolin. W obliczeniach wykorzystano dane meteorologiczne ze stacji Ruda i Mława z okresu 1966–1985, zakładając stałą długość okresu wegeta-

cyjnego w poszczególnych latach (od 120 do 272 dnia roku kalendarzowego).

W obliczeniach założono, że profil glebowy o miąższości 110 cm i 30 cm warstwie ornej zbudowany jest z gliny piaszczystej, której właściwości retencyjne i hydrauliczne opisane zostały przez Wöstena (1987). Rośliną uprawną były ziemniaki, których plony obliczano zgodnie z propozycją Feddesa i in. (1978). Do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej wykorzystano metodę Penmana w modyfikacji francuskiej (Roguski i in. 1988).

Jako dolny warunek brzegowy przyjęto swobodny drenaż wody z gleby, charakterystyczny dla obszaru wysoczyzny, gdzie głęboko położone zwierciadło wody gruntowej nie ma wpływu na zapasy wody w profilu glebowym. Symulowano nawodnienia deszczowniane ze stałą dawką polewową równą 30 mm, przy założeniu, że w każdej dekadzie może być zrealizowane tylko jedno nawodnienie (czas cyklu deszczowania 10 dni). Nawodnienia rozpoczynano przy ciśnieniu ssącym wody glebowej 800 cm określanym na głębokości 20 cm.

W pierwszym etapie badań symulowano wzrost biomasy roślin w poszczególnych latach dla naturalnych warunków wilgotnościowych gleby, tj. wobec braku nawodnień oraz dla warunków optymalnych, zakładając możliwość prowadzenia nawodnień bez ograniczeń. W ten sposób dla każdego roku uzyskano: maksymalną wielkość plonu, maksymalną liczbę nawodnień (n_{\max}) oraz terminy zgłoszenia zapotrzebowania na nawodnienie. W tabeli 1 zamieszczono maksymalną liczbę nawodnień dla poszczególnych lat oraz procentową wielkość spad-

TABELA 1. Zestawienie procentowego spadku plonów wobec braku nawodnień w stosunku do plonu maksymalnego

Maksymalna liczba nawodnień n_{max}	Rok	Spadek plonów przy niezrealizowaniu nawodnień ΔY [%]
1	1977	0
	1980	0
2	1972	1
	1981	2
	1984	1
3	1966	3
	1967	8
	1974	2
	1978	1
4	1970	7
	1985	6
5	1979	12
6	1969	19
	1975	18
	1982	18
7	1971	31
	1973	24
	1976	21
8	1968	34
	1983	33

ku plonów (ΔY) wobec braku nawodnień w stosunku do plonu maksymalnego.

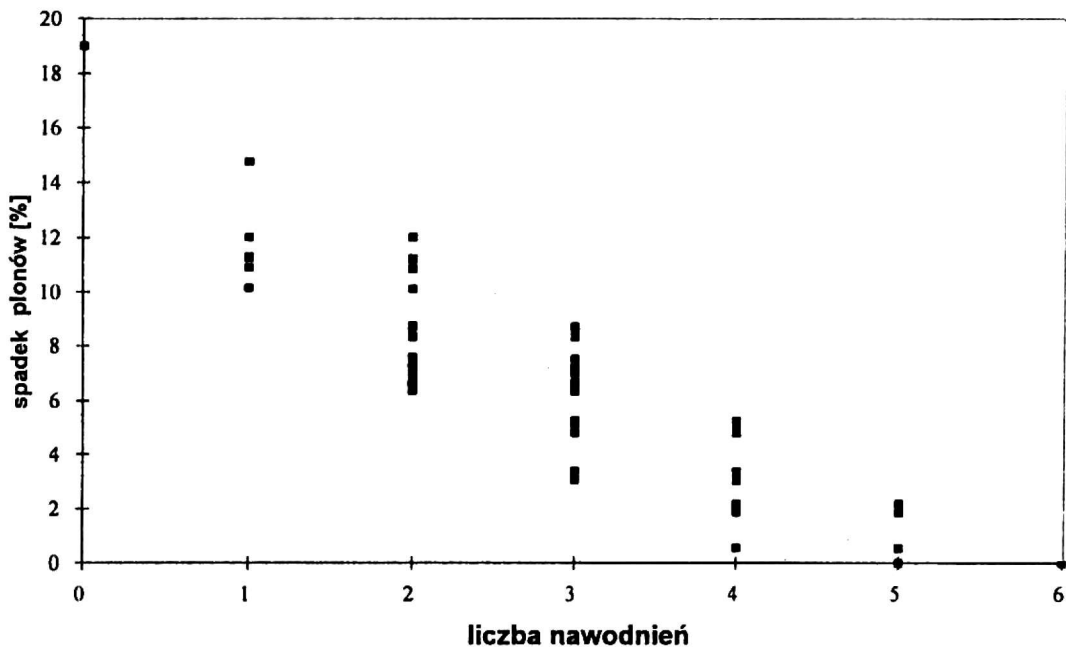
W drugim etapie, liczba nawodnień (n) dla każdego roku zmieniała się od jednego nawodnienia do maksymalnej liczby nawodnień (n_{max}). Dla każdej ustalonej liczby nawodnień rozpatrywano wszystkie możliwe kombinacje $C_n^{n_{max}}$ terminów nawodnień w czasie okresu wegetacyjnego. Przykładowo, dla roku 1969, realizując trzy nawodnienia z sześciu (gwarancja czasowa $G_t = 0,5$), analizowano 20 kombinacji. W ten sposób dla każdego roku obliczono wielkość plonów

dla wszystkich możliwych kombinacji terminów nawodnień.

W tabeli 2 zestawiono minimalne i maksymalne wielkości spadku plonów dla ustalonych gwarancji czasowych w wybranych latach. Dla zobrazowania zależności spadku plonów od liczby nawodnień i ich rozkładu w czasie na rysunku 1 przedstawiono tego typu zależność dla 1969 roku.

TABELA 2. Wielkości spadku plonów w stosunku do plonu maksymalnego w zależności od ilości dostarczonej wody dla wybranych lat

Rok	Maksymalna liczba nawodnień	Liczba zrealizowanych nawodnień	Wielkość spadku plonów w stosunku do plonu maksymalnego	
			max [%]	min [%]
1968	8	0	34	34
		1	27	21
		2	25	15
		3	20	9
		4	15	5
		5	11	1
		6	7	0
		7	3	0
1969	6	0	19	19
		1	15	10
		2	12	6
		3	9	3
		4	5	1
		5	2	0
1985	4	0	6	6
		1	2	1
		2	1	0
		3	0	0
1981	2	0	2	2
		1	0	0
		2	0	0



RYSUNEK 1. Symulowany spadek plonów w stosunku do plonu maksymalnego jako funkcja liczby nawodnień i ich rozkładu w czasie (rok 1969)

Analiza wyników

Na podstawie wyników zawartych w tabeli 2 można zauważyć, że np. dla roku 1969, w przypadku przeprowadzenia trzech nawodnień z sześciu (gwarancja czasowa $G_t = 0,5$), wielkość spadku plonów w stosunku do plonu maksymalnego waha się od 3 do 9% (rys. 1), czyli dla jednakowej gwarancji czasowej wielkość uzyskiwanych plonów zmienia się w zależności od terminów realizacji nawodnień. Jednocześnie, dla tego samego roku, realizując tylko 1 nawodnienie ($G_t = 0,17$) we właściwie dobranym terminie można osiągnąć 90% plonu maksymalnego (10% spadek), podczas gdy przy 3 nawodnieniach ($G_t = 0,50$) i niekorzystnym harmonogramie uzyskuje się 91% plonu maksymalnego. Oznacza to, że zbliżoną wielkość plonów można uzyskać przy istotnie różnych gwarancjach czasowych.

Wynika stąd, że nie istnieje jednoznaczny związek pomiędzy wielkością strat

powodowanych deficytami wody a gwarancją czasową, co podważa zasadność stosowania kryterium gwarancji czasowej pokrycia średnich okresowych potrzeb wodnych do oceny stopnia realizacji zaopatrzenia w wodę użytkowników rolniczych.

Powyższe rozważania dotyczą również kryterium gwarancji objętościowej, jeżeli nawodnienia prowadzone są ze stałą dawką polewową.

W ramach prowadzonych prac analizowano również przydatność pozostałych kryteriów. Kryterium maksymalnej głębokości deficytu jest mało reprezentatywne, ponieważ może ono przyjmować co najwyżej wartość równą wielkości dawki nawodnieniowej, podczas gdy, w przypadku wystąpienia deficytu trwającego dłużej niż jeden okres, faktyczny brak wody może być większy, co wynika z pogłębiania się niedoborów wody w glebie (jeżeli w tym czasie nie wystąpiły wystarczająco duże opady). Doprowadzenie

wilgotności gleby do stanu pożądanego wymaga więc dostarczenia większej ilości wody niż jedna dawka nawodnienia.

Kryterium maksymalnego czasu trwania ciągłego deficytu nie może być stosowane dla użytkowników o potrzebach dyskretnych (nieciągłych w czasie) ze względu na trudności ze zdefiniowaniem pojęcia ciągły deficyt. Warunkiem stosowalności tego kryterium jest przyjęcie jednego z dwóch wątpliwych założeń:

- czas trwania ciągłego deficytu oznacza ciąg następujących po sobie okresów deficytów nie rozdzielonych okresem, w którym całkowicie pokryto przynajmniej jedno niezerowe zapotrzebowanie na wodę (np. dwa okresy deficytowe oddalone od siebie o miesiąc powinny być traktowane łącznie, jeżeli w tym czasie nie było zgłaszane zapotrzebowanie na wodę, podczas gdy rzeczywisty niedobór wody może być krótszy);
- czas trwania ciągłego deficytu może odnosić się tylko do okresów, w których w sposób ciągły było zgłaszane zapotrzebowanie na wodę (np. dwa okresy deficytowe oddalone od siebie o miesiąc powinny być traktowane rozdzielnie, bez względu na warunki meteorologiczne, chociaż w przypadku braku lub niewystarczających opadów obiekt nawadniany znajduje się w stanie ciągłego deficytu).

Powyższe przykłady wskazują, że o tym, czy obiekt znajduje się w stanie deficytu nie można stwierdzić na podstawie analizy ciągłego zapotrzebowania i poborów wody bez uwzględniania warunków meteorologicznych.

Propozycja sposobu obliczania potrzeb wodnych oraz oceny stopnia ich realizacji

Analiza wyników badań symulacyjnych oraz doświadczenia wynikające z realizacji prac: „Zasady gospodarowania zasobami wodnymi doliny w sposób zaspokajający potrzeby ekosystemów chronionych i rolniczych” (Tyszewski i in. 1995) i „Renaturalizacja warunków wodnych w częściowo odwodnionych torfowiskach w Środkowym Basenie Doliny rzeki Biebrzy” (Okruszko i in. 1992) pozwalają stwierdzić, że modelowanie potrzeb wodnych użytkowników „retencjonujących wodę” (np. obszary nawadnianie, stawy rybne, użytkowanie związane z ochroną przyrody) w postaci ciągów średniego okresowego zapotrzebowania na wodę jest zbyt dużym uproszczeniem. Takie podejście nie uwzględnia procesu narastania wielkości potrzeb wodnych, w przypadku gdy w poprzednich okresach nie zostały one zaspokojone. Dla dokładniejszego odwzorowania specyfiki tego typu użytkowników konieczne jest obliczanie wielkości potrzeb z uwzględnieniem aktualnego stanu obiektu użytkownika wody (np. dla obiektów nawadnianych – uwilgotnienia profilu glebowego).

Autorzy proponują więc włączanie symulacyjnych modeli tego typu użytkowników wody do modelu bilansowego. Współpraca modeli przebiegałaby wówczas dwuetapowo: w pierwszym etapie na podstawie aktualnego stanu obiektu użytkownika wody oraz danych charakteryzujących warunki hydrometeorologiczne oblicza się potrzeby wodne obiektu, których wielkość jest przekazywana do mo-

delu bilansowego. Po dokonaniu alokacji zasobów, na podstawie ilości przydzielonej użytkownikowi wody, aktualnego stanu obiektu i danych hydrometeorologicznych obliczany jest stan końcowy obiektu (np. wilgotność gleby), który staje się stanem początkowym dla kolejnego przedziału czasowego (rys. 2).

W wyniku wielookresowej symulacji alokacji zasobów wodnych (obliczeń bilansowych) z uwzględnieniem współpracy z modelem użytkownika, uzyskuje się m.in. ciągi stanów końcowych obiektu użytkownika.

Autorzy proponują powiązanie kryteriów oceny stopnia realizacji zadania zapotrzebowania w wodę użytkowników mogących retencjonować wodę z przebiegiem stanów obiektu (np. dla użytkownika rolniczego z uwilgotnieniem gleby).

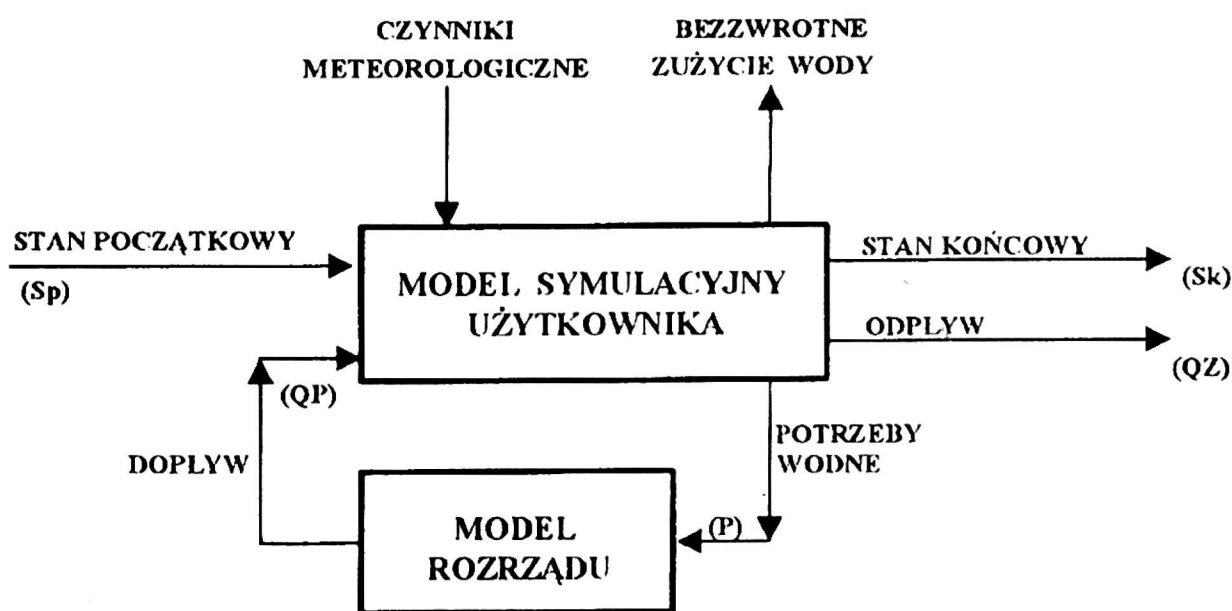
Gwarancja czasowa może być zdefiniowana jako stosunek liczby okresów, w których stan obiektu był zadowalający do liczby wszystkich okresów objętych badaniami symulacyjnymi. W przypadku

użytkownika rolniczego jest to stosunek liczby okresów, w których wilgotność gleby rozpatrywanego obiektu była w optymalnym zakresie ze względu na warunki poboru wody przez rośliny do liczby wszystkich rozpatrywanych okresów.

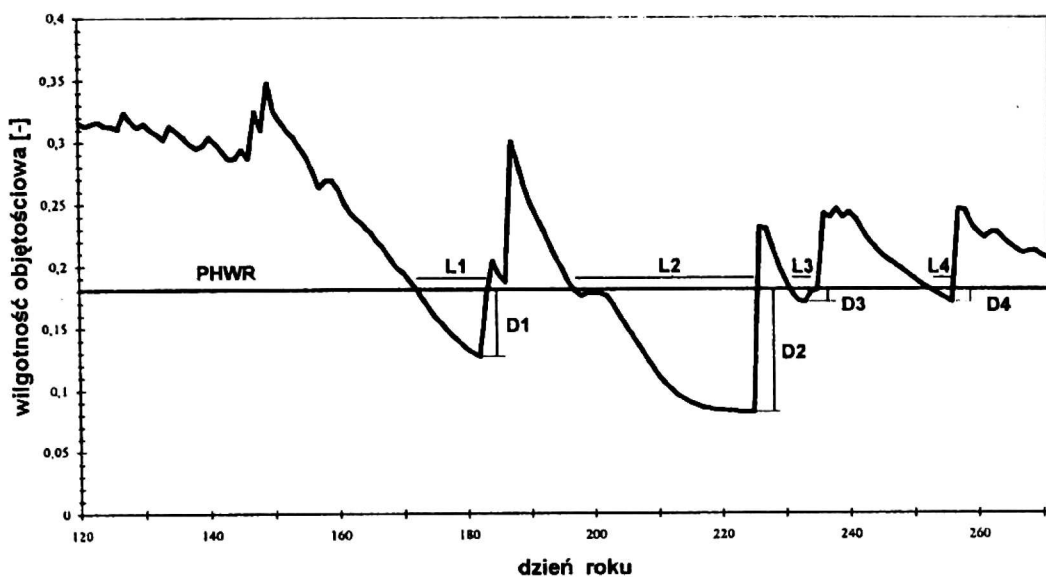
Równocześnie warto zauważyć, że przy zaproponowanym podejściu, możliwe będzie określenie maksymalnego czasu trwania ciągłego deficytu (L_{max}), zdefiniowanego jako czas trwania najdłuższego okresu, w którym wilgotność gleby utrzymywała się poniżej wilgotności odpowiadającej punktowi hamowania wzrostu roślin oraz maksymalnej głębokości deficytu (D_{max}), oznaczającej największy okresowy niedobór wody w glebie w rozpatrywanym wieloleciu (rys. 3).

Podsumowanie i wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że dla użytkowników mogących retencjonować wodę opis potrzeb wodnych w postaci ciągów średniookresowego zapo-



RYSUNEK 2. Współpraca modelu użytkownika, którego potrzeby zależą od aktualnego stanu obiektu, z modelem rozrządu wody



RYSUNEK 3. Przykładowy przebieg zmian uwilgotnienia gleby – kryteria L_{\max} i D_{\max} oceny stopnia realizacji zadania zaopatrzenia w wodę

$PHWR$ – wilgotność odpowiadająca punktowi hamowania wzrostu roślin, D_1, \dots, D_4 – głębokość spadku wilgotności gleby poniżej $PHWR$ ($D_{\max} = D_2$), L_1, \dots, L_4 – czas, w którym wilgotność gleby utrzymuje się poniżej $PHWR$ ($L_{\max} = L_2$).

trzebowania na wodę jest zbyt dużym uproszczeniem. Ponadto udowodniono nieadekwatność dotychczas stosowanych kryteriów oceny stopnia realizacji zadania zaopatrzenia w wodę dla tego typu użytkowników.

2. Przedstawiono propozycję zasad współpracy modeli symulacyjnych użytkowników retencjonujących wodę z modelem rozrzędu wykorzystywanym w analizach bilansowych.

3. Zaproponowano również nowy sposób formułowania kryteriów oceny stopnia realizacji zadania zaopatrzenia w wodę związaną z przebiegiem stanów obiektu (użytkownika wody).

Literatura

FEDDES R.A., KOWALIK P.J., ZARADNY H. 1978: *Simulation of field water use and crop yield*. Simulation Monograph. Pudoc, Wageningen.

HERBICH P., TYSZEWSKI S. 1993: *Warunki korzystania z wód zlewni rzeki Wkry*. Opracowanie wykonane na zlecenie RZGW, Warszawa.

HYDROPROJEKT-WARSZAWA, 1992: *Metodyka jednolitych bilansów wodno-gospodarczych*. Opracowanie wykonane na zlecenie Ministerstwa OŚZNiL, Warszawa.

HYDROPROJEKT-WARSZAWA, 1994: *Warunki korzystania z wód zlewni rzeki Radomki*. Opracowanie wykonane na zlecenie RZGW, Warszawa.

KABAT P., VAN DEN BROEK B.J., FEDDES R. A. 1992: *SWACROP: A water management and crop production simulation model*. ICID Biuletyn, 41; 61–84.

KOWALIK P. 1989: *Relacja pomiędzy zaopatrzeniem w wodę a plonem roślin*. [w:] *Potrzeby wodne roślin uprawnych* (Dzieżyc red.), PWN, Warszawa, 36–49.

MOSZOWA J. 1986: *Wpływ deszczowania i zróżnicowanego nawożenia azotowego na dynamikę rozwoju oraz plon nowych odmian ziemniaków (Matematyczny model i jego weryfikacja empiryczna)*. ZPPNR 268; 437–480.

OKRUSZKO H. i in. 1992: *Renaturalizacja warunków wodnych w częściowo odwodnionych*

- torfowiskach w Środkowym Basenie Doliny rzeki Biebrzy*. Opracowanie wykonane na zlecenie Narodowej Fundacji Ochrony Środowiska, Projekt 3943, Warszawa.
- ROGUSKI W., SARNACKA S., DRUPKA S. 1988: *Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych*. Materiały instruktażowe, IMUZ 66.
- SŁOTA H. i in. 1994: *Warunki korzystania z wód zlewni rzeki Kamiennej*. Opracowanie wykonane na zlecenie RZGW, Warszawa.
- TYSZEWSKI S. PUSŁOWSKA D., OKRUSZKO T. 1995: *Zasady gospodarowania zasobami wodnymi doliny w sposób zaspokajający potrzeby ekosystemów chronionych i rolniczych*. Opracowanie wykonane w ramach Grantu KBN pt. „Rolniczo i ekologicznie zrównoważone zasady gospodarowania zasobami wodnymi i walorami przyrodniczymi w dolinie łęgowej, na przykładzie Górnej Narwi, Warszawa.
- WESSELING J.G., KABAT P., VAN DEN BROEK B.J., FEDDES R.A. 1989: *SWACROP: Simulating the dynamic of the unsaturated zone and water limited crop production. Model input instructions* The Winand Staring Centre, SC-DLO, Wageningen.
- WÖSTEN J.H.M. 1987: *Beschrijving van de waterrententie – en doorlatendheidskarakteristieken uit de Staringreeks met analytische functies*. Wageningen, STIBOKA Rapport 2019.

Adres autorów

T. Okruszko
 Politechnika Warszawska
 00-653 Warszawa, ul. Nowowiejska 20
 D. Pusłowska, S. Tyszewski
 Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
 02-787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166