

CZESŁAW PRZYBYŁA, MICHAŁ FIEDLER

## STEROWANIE NAWODNIENIAMI - TEORIA I PRAKTYKA

Z Katedry Melioracji Rolnych i Leśnych

### Wstęp

Ustalenie terminów nawodnień i wysokości dawek polewowych przerasta często możliwości użytkowników deszczowni wielkoobszarowych. Ponieważ nawadnianie ma ścisły związek z innymi pracami w gospodarstwie, deszczowanie musi być traktowane jako jeden z wielu zabiegów w produkcji rolnej, które wymagają programowania. Rolę taką spełnia sterowanie nawodnieniami, opierając się na prognozach potrzeb nawodnień z uwzględnieniem sposobu użytkowania terenu i nawadnianych roślin, warunków glebowych, rodzaju urządzeń nawadniających, ilości i jakości wody dyspozycyjnej oraz przebiegu pogody (Jansen i in. 1970, Schefke i in. 1986).

W pracy niniejszej przedstawiono teoretyczne podstawy wdrożonego od 1987 roku w 7 uspołecznionych gospodarstwach rolnych programu sterowania nawodnieniami oraz napotykaną w praktyce trudności w pełnej jego realizacji. Badania prowadzono w latach 1986/1990, w ramach problemu resortowego RR-II-19, w temacie: "Eksploatacja deszczowni wielkoobszarowych".

### Charakterystyka obiektów i metodyka

Do badań wybrano 7 deszczowni wielkoobszarowych znajdujących się w regionie Wielkopolski oznaczonych symbolami:  $A_1$ ,  $A_2$ , B, C, D, E i G. Powierzchnie poszczególnych deszczowni obejmują od 236 ha do 522 ha, z tym, że obiekty  $A_1$  i  $A_2$  mają wspólne ujęcie wody i pompownię. Podstawową charakterystykę obiektów zamieszczono w pracy **Kosturkiewicza, Przybyły, Kozaczyka** "Eksploatacja deszczowni wielkoobszarowych" (1990). Deszczownie wyposażone są w jugosłowiańskie skrzydła przetaczane typu BK-10, a obiekty  $A_1$  i  $A_2$  dodatkowo w krajowej produkcji deszczownie przeciągane. Gleby badanych obiektów należą w większości do kompleksów pszenno-żytniego i żytniego mocnego charakteryzujących się znacznymi niedoborami wody już w okresie wiosennym. Na wszystkich badanych obiektach prowadzono w okresie od kwietnia do września pomiary wysokości dobowych opadów. Na obiektach  $A_1$  i  $A_2$  w celu możliwości ciągłej rejestracji opadów zainstalowano pluwiografy. Do obliczeń ewapotranspiracji potencjalnej (ETp) wykorzystano następujące dane:

- średnie dobowe temperatury powietrza ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- średnie dobowe prężności pary wodnej (hPa),
- średnie dobowe prędkości wiatru (m/sek),
- całkowite dobowe usłonecznienie (godz.).

Dane te uzyskiwano odpłatnie ze stacji IMGW Poznań-Ławica.

Ponieważ wszystkie badane deszczownie, dla których prowadzono sterowanie znajdują się w niewielkiej odległości, bo w promieniu 20 km od Poznania, można przyjąć za Kędziorą i współautorami (1986), że dane wykorzystywane ze stacji IMGW Poznań-Ławica mogły być stosowane do prognozowania i sterowania nawodnieniami we wszystkich badanych deszczowniach. Podstawą weryfikacji były pomiary wilgotności gleby wykonywane na podstawowych obiektach  $A_1$  i  $A_2$  w odstępach dwutygodniowych, w 8 wybranych profilach glebowych, w okresie od wiosny do jesieni. Pomiary wykonywane były metodą radioizotopową do głębokości 2,0 m, w odstępach co 20 cm. Dodatkowo w sezonie nawodnieniowym wykonywano na wszystkich obiektach kontrolne pomiary wilgotności gleby w warstwie celowego zwilżania na wszystkich obiektach. W ramach badań gleboznawczych oznaczono właściwości fizyko-wodne badanych gleb.

### Prognozowanie potrzeb nawodnień

Obliczenia wykonuje się opierając się na opracowanym przez autorów programie "BILANS" według podanego poniżej schematu:

$$\text{ZWU}(i) = \text{ZWU}(i-1) + \text{OPAD}(i) + \text{DAWKA}(i) - \text{ET}_r(i),$$

gdzie:

ZWU (i) - obliczony zapas wody użytecznej w warstwie celowego zwilżania gleby (mm),

ZWU (i-1) - zapas wody użytecznej w dniu poprzedzającym (mm),

OPAD (i) - wysokość opadu efektywnego, obliczonego według następujących zależności:

$$\text{OPAD}(i) = \text{OPAD}(i) - 3 \text{ mm} \text{ gdy } \text{OPAD}(i-1) = 0,$$

$$\text{OPAD}(i) = \text{OPAD}(i) \text{ gdy } \text{OPAD}(i-1) > 0,$$

jeśli wyznaczony tak  $\text{OPAD}(i) < 0$  to wtedy przyjmuje się  $\text{OPAD}(i) = 0$ ,

DAWKA (i) - dawka polewowa (mm),

$\text{ET}_r(i)$  - ewapotranspiracja rzeczywista obliczana (mm) z zależności:

$$\text{ET}_r = \text{ET}_p * K_1 * K_2 \text{ (mm)},$$

gdzie:

$\text{ET}_p$  - ewapotranspiracja potencjalna (mm).

Ewapotranspiracja potencjalna ( $\text{ET}_p$ ) obliczana jest z wykorzystaniem wzoru Penmana w modyfikacji francuskiej, podanym przez Roguskiego i współautorów (1988). Wartość ewapotranspiracji potencjalnej obliczano osobno dla gruntów



ornych i dla trwałych użytków zielonych, a wynikało to z różnych wartości albedo dla obu rodzajów rolniczego wykorzystania terenu.

$K_1$  - współczynnik roślinny, zależny od gatunku nawadnianej rośliny i jej fazy rozwojowej, przyjęty za Roguskim, Sarnacką i Drupką (1988),

$K_2$  - współczynnik zależny od rzeczywistego zapasu wody w warstwie celowego zwilżania gleby (Przybyła 1991: "Ewapotranspiracja rzeczywista w sterowaniu nawodnieniami") wyrażający się zależnością:

$$K_2 = \left( \frac{ZAPAS - WH}{WK - WH} \right)^n \quad \text{gdy} \quad ZAPAS < WK,$$

$$K_2 = 1 \quad \text{gdy} \quad ZAPAS > WK,$$

gdzie:

ZAPAS - aktualny zapas wody w warstwie celowego zwilżania gleby (mm),

WK - zapas wody odpowiadający wilgotności krytycznej w warstwie celowego zwilżania (mm),

WH - zapas wody odpowiadający podwójnej wilgotności higroskopijnej w warstwie celowego zwilżania (mm),

n - współczynnik wykładniczy kształtu krzywej, wynoszący od 1,5-2,0 zależnie od typu gleby i jej właściwości fizyko-wodnych.

W warunkach prawidłowo eksploatowanej deszczowni, jak to zresztą zalecają niektórzy autorzy (Wesseling, van der Broek 1987) wskaźnik  $K_2$  można by pominąć, gdyż gospodarowanie wodą odbywa się tylko w zakresie wody łatwo dostępnej, czyli pomiędzy zapasem wody przy polowej pojemności wodnej (PPW) i zapasem wody przy wilgotności krytycznej (WK) odpowiadającej od 0,5 do 0,7 PPW.

W deszczowniach wielkoobszarowych na skutek awarii, czy też opóźnień w terminowym rozpoczęciu deszczowania następuje często wyczerpanie zapasów wody w strefie celowego zwilżania poniżej wilgotności krytycznej (WK). Jak to stwierdzono w praktyce, na podstawie stałych pomiarów wilgotności gleby właśnie w okresach wyczerpania zapasów wody poniżej WK następuje drastyczna redukcja ewapotranspiracji rzeczywistej. Wprowadzenie do obliczeń współczynnika  $K_2$  według podanej formuły w znaczący sposób weryfikuje i przybliża do rzeczywistych wielkości dobowe wartości  $ET_r$  (Przybyła 1991). Wartość ZWU w programie obliczana jest dwukrotnie. Różniczy się prognozowanie od wiosny, kiedy to wykonane pomiary wilgotności gleby w warstwie celowego nawilżania są reperowymi - początkowymi wielkościami odpowiadającymi zapasom wody użytecznej. Elementem zmniejszającym wartości ZWU są wielkości ewapotranspiracji rzeczywistej  $ET_r$ , wynikające ze zmienności współczynników  $K_1$  i  $K_2$ . W pierwszym przybliżeniu współczynnik  $K_2 = 1,0$ . Jeżeli obliczona wówczas wartość ZWU  $> WK$ , wtedy wartość ZWU nie podlega zmianie. Natomiast gdy ZWU  $< WK$  wtedy wartość współczynnika  $K_2$  obliczana jest z zależności podanej uprzednio:

$$K_2 = \left( \frac{ZAPAS - WH}{WK - WH} \right)^n,$$

Zależności pomiędzy pomierzonymi i obliczonymi wielkościami ewapotranspiracji rzeczywistej w suchym 1989 roku dla wybranych stanowisk pomiarowych  
 Relations between measured and calculated evapotranspiration in dry year 1989 for chosen plots

Stanowisko Nr Plot No	Roślina lub użytek Plant or crop	Współczynnik korelacji Correlation coefficient	Poziom istotności Probability level	Błąd standardowy oszacowania Standard error of estimation
1	Pszenica ozima Winter wheat	0,947	0,001	4,21
2	Lucerna Alfalfa	0,941	0,000	7,39
3	Kukurydza Maize	0,939	0,000	2,73
4	Pastwisko Pasture	0,790	0,011	6,43

Obliczony tak współczynnik  $K_2$ , wykorzystywany jest do obliczenia po raz drugi wartości  $ET_R$  i następnie ZWU uwzględniających utrudnione warunki poboru wody z gleby. Wartość ZWU ograniczona jest wielkością połowej pojemności wodnej (PPW) i wilgotnością wędnięcia przyjmowaną jako podwójna higroskopia (WH), odniesionymi do warstwy celowego zwilżania gleby. W celu wykonania prognozy na najbliższy tydzień, przyjmowane są warunki meteorologiczne jak w ostatnim dniu przed prognozą. W programie istnieje możliwość zmiany głębokości celowego zwilżania w okresie sezonu wegetacyjnego, poprzez zmianę wartości połowej pojemności wodnej (PPW), wilgotności krytycznej (WK) oraz wilgotności wędnięcia (WH) odnosząc je do pożądanej w okresie obliczeniowym głębokości celowego zwilżania gleby.

Podstawą weryfikacji prognoz potrzeb nawodnień były wykonywane okresowe pomiary wilgotności gleb. W tabeli 1 zestawiono dla wybranych stanowisk pomiarowych deszczowni  $A_1$  i  $A_2$  zależności pomiędzy pomierzonymi i obliczonymi wielkościami ewapotranspiracji rzeczywistej w suchym 1989 roku. Jak widać z tej tabeli wielkości współczynników korelacji dla pojedynczych stanowisk są duże i mieszczą się w granicach od 0,79 dla pastwiska do 0,95 dla pszenicy ozimej przy jednocześnie wysokich poziomach istotności. Obliczone błędy oszacowania dla pojedynczych stanowisk pomiarowych wahały się od 2,7 mm dla kukurydzy do 7,4 mm dla lucerny dla okresów 14-dniowych. Biorąc pod uwagę wielkości stosowanych jednorazowych dawek nawodnieniowych, wahających się od 20 mm do 45 mm oraz nierównomierność deszczowania, uzyskane wyniki wskazują na istnienie wysokich zgodności pomiędzy obliczonymi programem BILANS i określonymi na podstawie wykonanych pomiarów wilgotności gleby wielkościami ewapotranspiracji rzeczywistej.

Weryfikację prognoz potrzeb nawadniania przeprowadzono również porównując cotygodniowe sumy ewapotranspiracji rzeczywistej obliczonej w prognozie,



Tabela 2

Zestawienie odchyłek między prognozowanymi pomierzonymi wartościami  
ewapotranspiracji rzeczywistej w 1989 roku

Deviations between predicted and measured real evapotranspiration  
in year 1989

Roślina lub użyt- tek 'lant or crop	Liczba odchyłek w mm na ty- dzień w przedziałach Number of deviations in mm in week in ranges				Liczebność próby Size of sample	Maksymalna wielkość odchyłki mm/tydz. Maximum deviation mm/week	Odchylenie standar- dowe mm/tydzień Standard deviation mm/week	Błąd stan- dardowy średniej mm/tydz. Standard error mm/week
	<0-1)	<1-3)	<3-5)	<5- )				
Lucerna Alfalfa	13	7	1	1	22	8,94	2,23	0,48
Pastwisko Pasture	8	6	3	6	23	7,48	3,72	0,78
Ziemniaki Potatoes	8	4	3	6	21	-8,21	3,97	0,87
Pszenica ozima Winter wheat	5	6	3	1	15	6,26	2,94	0,76
Buraki cukrowe Sugar beets	10	2	6	3	21	7,35	3,40	0,74
Razem Sums	44	25	16	17	102	-	-	-

przy założeniu niezmienności warunków meteorologicznych w okresie prognozowanym oraz ewapotranspiracją obliczoną na podstawie przebiegu rzeczywistych warunków meteorologicznych, które wystąpiły w tym okresie. W tabeli 2 zestawiono liczbę tygodniowych odchyłek w mm w zależności od ich wielkości, maksymalne tygodniowe wielkości odchyłek w mm, liczebność prób oraz odchylenia standardowe i błędy standardowe średniej. Jak widać z tabeli liczba odchyłek mniejszych od 1,0 mm w okresie tygodnia stanowiła 43% wszystkich odchyłek, aż 68% odchyłek było poniżej 3,0 mm, a tylko 17% odchyłek miało wartości powyżej 5,0 mm dla tygodniowej prognozy. Natomiast obliczone odchylenia standardowe wahają się od 2,2 mm/tydzień dla lucerny do 3,9 mm/tydzień dla ziemniaków.

### Sterowanie nawodnieniami

Zastosowana w 7 deszczowniach wielkoobszarowych województwa poznańskiego metoda sterowania nawodnieniami, oparta jest na prognozach zapotrzebowania wody obliczonych programem BILANS. W programie sterowania nawodnieniami wy-

korzystywano komputerową bazę danych dla każdej deszczowni. W bazie danych, poza danymi meteorologicznymi z IMGW według stacji Poznań-Ławica oraz charakterystykami fizyko-wodnych właściwości gleb, zawarte są szczegółowe informacje o polach płodozmianowych i sektorach nawodnieniowych. Dla każdego pola podano charakterystykę następujących parametrów: wymiary obszarowych jednostek deszczowania, optymalne okresy deszczowania, liczbę technicznych jednostek eksploatacyjnych pracujących na danym polu i ich charakterystyki, czasy deszczowania w cyklu nawodnieniowym i czasy potrzebne na zmianę kolejnych stanowisk pracy skrzydeł deszczujących. Integralną częścią sterowania nawodnieniami są corocznie opracowywane harmonogramy i plany operacyjne deszczowania. Plany te poza danymi zawartymi w bazie danych komputerowego programu sterowania mają naniesione na mapach pozycje startowe technicznych jednostek eksploatacyjnych, kierunki ich przemieszczania, liczbę rurociągów pracujących i zmianowych oraz granicę obszarowych jednostek deszczowania, a także granicę obszarów wyłączonych z planów nawodnień z powodu przeszkód terenowych, nadmiernych spadków terenu, zmienności gleb oraz niedostosowanego do wymagań deszczowni kształtu pól. Wszystkie informacje dotyczące sterowania były przekazywane telefonicznie. Zarówno przyjmowanie komunikatów od użytkowników przez ośrodek sterowania w Katedrze o przebiegu warunków meteorologicznych minionego tygodnia, jak i danych o wysokości opadów i zastosowanych dawkach nawodnieniowych z obiektów deszczownianych odbywało się w każdy poniedziałek. Zebrane dane wprowadzono do bazy danych i wykonywano obliczenia prognozy potrzeb nawodnień, które przekazywane były do użytkowników w każdy wtorek. Prowadzone sterowanie nawodnieniami dawało pełne podstawy organizacyjne do prawidłowej eksploatacji deszczowni. Decyzje o rozpoczęciu, przerwaniu oraz zakończeniu nawodnień pozostawały w gestii użytkowników i były uzależnione od przebiegu pogody. Jeśli w okresie prowadzenia nawodnienia wystąpił opad o wysokości efektywnej powyżej 5,0 mm, co średnio odpowiada dwudniowemu zużyciu wody, przerywa się deszczowanie na okres odpowiadający wyczerpaniu wody dostarczonej do gleby przez opad. Decyzję o przerwaniu nawodnień i długości przerw w okresach pomiędzy prognozami podejmowane były indywidualnie przez użytkowników deszczowni na podstawie zmierzonych na terenie zakładów rolnych wysokości opadów.

### **Sterowanie nawodnieniami i eksploatacja deszczowni w praktyce**

W okresie sporządzania harmonogramów i planów operacyjnych deszczowania dla zaplanowanej w danym roku struktury użytkowania terenów deszczowni uzgodniono z kierownikami gospodarstw pozycje startowe technicznych jednostek eksploatacyjnych, które jednocześnie posłużyły jako dane wyjściowe do sterowania nawodnieniami. Opracowane harmonogramy i plany operacyjne przekazano wszystkim użytkownikom deszczowni na początku okresu wegetacyjnego.



Tabela 3

Potrzeby nawodnień i zastosowanie nawodnienia w suchym okresie wegetacji  
1989 roku na badanych obiektach deszczownianych

Irrigation needs and applicated irrigations during dry vegetation  
period 1989 on investigated sprinkling objects

Obiekt Object	Liczba nawod- nionych roślin Number of irriga- ted plants	Suma dawek sezonowych Total dose in vegetation			Liczba dawek w okresie we- getacji Number of doses in vegeta- tion			Procent powierz- chni de- szczowa- nej Irriga- ted area (%)
		potrzeb- nych needs (mm)	zastosowanych w: applicated in:		potrzeb- nych needs	zastosowanych w: applicated in:		
			mm	%		liczba number	%	
A <sub>1</sub>	6	605	415	68	26	14	54	41
A <sub>2</sub>	6	765	410	54	28	15	54	45
B	3	505	310	61	15	9	60	49
C	4	590	400	68	15	10	67	34
D	3	455	225	49	14	7	50	36
E	2	345	125	36	11	4	36	21
G	2	425	380	89	10	9	90	10
Średnia Mean	3,7	527	324	61	17	9,7	59	34

Z planów operacyjnych wynikały zalecenia dotyczące rozmieszczenia niezbędnej ilości technicznych jednostek eksploatacyjnych. Już na tym etapie zmontowano średnio o 30% mniej rurociągów przetaczanych i przeciąganych od zalecanych w harmonogramach.

Podstawą do prognozowania pierwszych dawek nawodnieniowych były wyniki pomiarów zapasów wody w warstwie celowego zwilżania gleby na podstawowych (A<sub>1</sub> i A<sub>2</sub>) obiektach deszczownianych. Pierwszy komunikat o potrzebie nawodnienia przekazywany do użytkowników w ramach sterowania nawodnieniami został praktycznie wykorzystany w jednym obiekcie, w pozostałych sześciu opóźnienia w terminie pierwszego deszczowania wahały się od 1 do 4 tygodni z powodu nie zmontowania we właściwym czasie technicznych jednostek eksploatacyjnych. Często jednak informacje z zakładów rolnych uzyskiwane były dopiero po telefonicznej interwencji ze strony pracowników Katedry. Trudności występowały również w przekazywaniu prognoz do użytkowników deszczowni z powodu wyłączeń abonentów lub awarii linii telefonicznych.

W tabeli 3 zestawiono liczbę nawodnionych roślin, potrzeby nawodnień, zastosowane nawodnienia wyrażone sumą dawek nawodnieniowych dla poszczególnych obiektów, liczbą potrzebnych i zastosowanych dawek polewowych oraz procent powierzchni deszczowanej w suchym okresie wegetacji 1989 roku w badanych 7 deszczowniach. Jak widać z tabeli sumaryczna wielkość zastosowanych dawek sezonowych stanowiła średnio tylko 61% dawek potrzebnych. Po-

dobnie wyglądała ilość zastosowanych dawek polewowych, gdyż była średnio o 40% mniejsza od potrzeb. Należy również podkreślić, że nawadniano średnio tylko 34% powierzchni objętych deszczowniami. Analizę przyczyn niskiego stopnia wykorzystania deszczowni, który w suchym 1989 roku wyniósł średnio 20% przedstawiono bardziej szczegółowo w pracy: "Problemy eksploatacji deszczowni wielkoobszarowych w Regionie Wielkopolski" (Kosturkiewicz, Przybyła 1991).

Należy jednak stwierdzić, że gospodarstwa, które korzystały z opracowanego w Katedrze i realizowanego w ramach ośrodka sterowania systemu prognozowania i sterowania nawodnieniami osiągnęły znaczne zwyżki plonów. W suchym 1989 roku przyrosty plonów na pastwiskach dochodziły do 100%, roślin okopowych do 35%, a zbóż jarych do 45% (Kosturkiewicz, Przybyła 1991).

W zakończeniu należałoby postawić pytanie, dlaczego pomimo stworzonych możliwości korzystania z planów operacyjnych nawodnień oraz cotygodniowych prognoz potrzeb nawodnień użytkownicy nie wykorzystali znacznego potencjału produkcyjnego jakim były posiadane deszczownie.

#### Literatura

- Jansen M., Robb D., Franzoy C. (1970): Scheduling irrigations using climate-crop-soil data. Journal of Irrigation and Drainage Division, 96 (IR) 1.
- Kędziora A., Scheffe R., Spychalski M., Posłuszny J. (1986): Ocena możliwości zastosowania uproszczonej metody Penmana do oszacowania ewapotranspiracji dla celów prognozowania nawodnień. Zesz. probl. Post. Nauk rol., 268.
- Kosturkiewicz A., Przybyła C. (1991): Analiza kryteriów lokalizacji inwestycji deszczownianych oraz przyjętych rozwiązań projektowych jako czynników warunkujących prawidłową eksploatację deszczowni. Roczn. AR Pozn., 224, 9.
- Kosturkiewicz A., Przybyła C. (1991): Problemy eksploatacji deszczowni wielkoobszarowych w Wielkopolsce. Roczn. AR Pozn.
- Kosturkiewicz A., Przybyła C., Kozaczyk P. (1990): Eksploatacja deszczowni wielkoobszarowych. Zeszyty Naukowe AR, Kraków.
- Przybyła C. (1991): Ewapotranspiracja rzeczywista w sterowaniu nawodnieniami. Roczn. AR Pozn.
- Roguski W., Sarnačka S., Drupka S. (1988): Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. IMUZ Falenty. Materiały instruktażowe 66.
- Scheffe R., Kędziora A., Spychalski M., Posłuszny J. (1986): Numeryczna metoda sterowania nawodnieniami. Zesz. probl. Post. Nauk rol., 268.
- Wesseling J., Broek B. van den (1987): Prediction of irrigation scheduling using the numerical model SWATCROP. Proceedings - Symposium Agrohydrology, Wageningen, The Netherlands.