

NUMERYCZNA METODA STEROWANIA NAWODNIENIAMI

Roman Schefke, Andrzej Kędziora, Marek Spychalski, Jan Pośluszny

Instytut Melioracji Rolnych i Leśnych AR Poznań

Racjonalne prowadzenie nawodnień pociąga za sobą konieczność kontrolowania rezerw dostępnej wody glebowej. Właściwa kontrola wymaga bieżącej informacji o zawartości wody w glebie, która służy do określania ilości wody potrzebnej dla uzupełnienia rezerw dostępnej wody. Drogą rozwiązania tych problemów jest sterowanie (prognozowanie) nawodnieniami w oparciu o miarodajne metody. Sterowanie nawodnieniami, obejmujące ustalanie terminów i wysokości dawek nawodnieniowych, jest procesem powtarzającym się szereg razy w roku. Tak termin nawodnienia, jak i ilość dostarczonej wody wpływa na efektywność nawodnień, decyduje o wysokości plonu i jego jakości. Opóźnienie nawodnienia w pewnych okresach rozwoju rośliny może nieodwracalnie obniżyć wysokość i jakość potencjalnego plonu. Również nadmiar wody może spowodować obniżenie plonu u większości roślin.

Należy podkreślić, że nawadnianie jest jednym z wielu zabiegów w procesie produkcji rolnej, które muszą być programowane w gospodarstwie. Równocześnie, z uwagi na zmienność warunków klimatycznych, sterowanie tym zabiegiem jest niezmiernie trudne.

Istnieje wiele metod sterowania nawodnieniami [1-14]. Wśród metod dokładnego sterowania nawodnieniami Jensen [7] wyróżnia metody wykorzystujące bezpośrednio pomiary wilgotności gleby oraz metody oparte na szacowaniu zużycia wody glebowej przy zastosowaniu maszyn cyfrowych. Szczególnie te ostatnie mają dużą przyszłość. Najistotniejszą zaletą tych metod, oprócz dużej dokładności, jest dostarczanie użytkow-

nikowi informacji o kolejnych terminach nawodnień poszczególnych upraw i wysokości dawek nawodnieniowych, czyli zwolnienie go z pracochłonnych czynności. Koszty stosowania tych metod maleją ze wzrostem powierzchni nawadnianych, objętych prognozowaniem.

Jedną z metod sterowania nawodnieniami przy użyciu elektronicznej techniki obliczeniowej jest metoda oparta na wykorzystaniu danych klimatycznych, uzupełnionych danymi glebowymi i roślinnymi.

Koncepcja planowania nawodnień, używając danych klimatycznych, nie jest nowa. Już w 1936 roku Das (za Jensenem, [7]) proponował użycie danych klimatycznych do kontrolowania nawodnień. Tej koncepcji poświęcono więcej uwagi w następnych latach. W 1954 roku Baver [2] stwierdził: „Meteorologiczne podejście do nawodnień ma przewagę w prostocie działania w porównaniu z metodą opartą na pomiarze wilgotności gleb. Jeżeli to stwierdzenie jest słuszne, koszty stosowania takiej metody będą względnie niskie. Niewątpliwie technika pomiarowa, jaka będzie stosowana do pomiarów meteorologicznych, dostarczy takich danych, które będą mogły być wystarczająco dokładnie skorelowane z ewapotranspiracją”.

Również w następnych latach podejmowano to zagadnienie. Po roku 1965 nastąpił szybki rozwój metod prognozowania nawodnień opartych na wykorzystaniu danych meteorologicznych [5-14]. Obecnie w wielu krajach (np. USA, Francji, NRD) wykorzystuje się dane klimatyczne i elektroniczną technikę obliczeniową do prognozowania nawodnień.

W niniejszej pracy przedstawiono roboczą koncepcję metody sterowania nawodnieniami, opartą na wykorzystaniu danych klimatycznych, glebowych i roślinnych z zastosowaniem elektronicznej techniki obliczeniowej. Przedstawiona metoda jest adaptacją do warunków naszego kraju metody opracowanej przez Jensena i innych [6-10].

Główną zmienną zależną w przyjętym modelu jest zużycie wody glebowej. Wielkość zużycia jest określana w oparciu o równanie:

$$D = \sum_{i=1}^n (E_t - R_e - I + W_d)_i \quad (1)$$

gdzie

D - zużycie wody glebowej w mm,

E_t - ewapotranspiracja w mm,

R_e - opad efektywny w mm,

I - ilość wody dostarczonej w nawodnieniu w mm,

W_d - odpływ wody ze strefy korzeniowej w mm (w przypadku istnienia podsiąku W_d jest wartością ujemną),

n - liczba dni od daty ostatniego nawodnienia do dnia obliczeń.

W programie najpierw szacowana jest dzienna ewapotranspiracja E^x tzw. rośliny wzorcowej w optymalnych warunkach wilgotnościowych. E^x jest liczone w oparciu o wzór Penmana w następującej postaci:

$$E^x = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) + \frac{\Delta + \gamma}{\Delta} \cdot 15,36 (0,75 - 0,0062 U_2) \cdot (e_s - e_d) \quad (2)$$

gdzie

- $\Delta = d_e/d_T$; e - prężność pary nasyconej,
- T - temperatura powietrza,
- γ - stała psychrometryczna,
- e_s - średnia prężność pary nasyconej w mb,
- e_d - prężność pary nasyconej przy średniej temperaturze pkt. rosy w mb (aktualna prężność pary wodnej),
- U_2 - dzienny przebieg wiatru w km.doba^{-1} na wysokości 2 m (średnia dobową prędkość wiatru w km.doba^{-1}),
- R_n - radiacja netto w $\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$,
- G - strumień ciepła z lub do gleby w $\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$.

Radiacja netto jest szacowana następująco:

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot (0,18 + 0,55 u)R_0 - (a_1 \frac{0,18 + 0,55 u}{0,73} + b_1) \cdot (a_2 - b_2 \cdot \sqrt{e_d}) \cdot 11,71 \cdot 10^{-8} \frac{T_2^4 + T_1^4}{2} \quad (3)$$

gdzie

- α - albedo,
- u - usłonecznienie względne,
- R_0 - napromieniowanie na granicy atmosfery w $\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1}$,
- a_1 i b_1 - stałe; $a_2 = 0,325 + 0,045 \sin(30M - 45 + D)$
- M - numer miesiąca od 1 do 12,
- D - numer dnia miesiąca od 1 do 31,
- b_2 - stała,
- $11,71 \cdot 10^{-8}$ - stała Stefan-Boltzmana w $\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{doba}^{-1} \cdot \text{°K}^{-4}$,
- T_2 i T_1 - odpowiednio maksymalna i minimalna temperatura powietrza w °K .

Evapotranspiracja łąnu danej rośliny obliczana jest z równania:

$$E_t = E_{tp} \cdot k_c \quad (4)$$

gdzie

E_{tp} - ekwiwalent wodny E^x , przyjmując 585 cal.g^{-1} jako ciepło parowania,

k_c - jest bezwymiarowym współczynnikiem roślinnym.

W obliczeniach zużycia wody glebowej (wg równania (1)), wysokość opadów i dawek nawodnieniowych przyjmowane są z pominięciem odpływu powierzchniowego. Nadmiar opadów i dawek nawodnieniowych do aktualnej pojemności wodnej gleby traktowany jest jako odpływ. Liczbę dni, po których powinno nastąpić nawodnienie, określa się ze wzoru:

$$N = \frac{D_0 - D}{\bar{E}_t} \quad (5)$$

dla $D > D_0$ $N = 0$

gdzie

N - liczba dni do kolejnego nawodnienia,

D_0 - maksymalne możliwe zużycie wody glebowej (maksymalna ilość wody łatwo dostępnej dla rośliny w danych warunkach glebowych),

D - obliczone zużycie wody glebowej (od ostatniego nawodnienia do dnia obliczeń),

\bar{E}_t - średnia przewidywana evapotranspiracja danej rośliny.

DANE WEJŚCIOWE

Wyróżniono trzy grupy danych wejściowych, niezbędnych do realizacji programu.

Dane podstawowe:

- stałe regionalne do obliczenia E^x ,
- dane identyfikacyjne systemu roślina-gleba, jak: nazwa gospodarstwa, nr kodowy rośliny, nr identyfikacyjny pola, data siewu, przewidywana data efektywnego przykrycia powierzchni gleby, przewidywana data zbioru, maksymalna ilość wody dostępnej dla danej rośliny.

Bieżące dane meteorologiczne (dla każdego dnia od daty ostatniego obliczenia):

- maksymalne i minimalne dobowe temperatury powietrza,

- dobowe wartości radiacji rzeczywistej,
- średnie dobowe wartości temperatury punktu rosy,
- dobowe prędkości wiatru w $\text{km} \cdot \text{doba}^{-1}$ na wysokości 2 m.

Bieżące dane dla każdego pola:

- data ostatniego nawodnienia,
- dopuszczalne zużycie wody glebowej w aktualnym stadium rozwoju danej rośliny (różnica między ppw a dolną granicą dopuszczalnej wilgotności gleby),
- wysokość opadów lub ilość wody dodanej w nawodnieniu,
- daty występowania opadów lub nawodnień, gdy mieszczą się w czasie okresu obliczeniowego.

Przedstawiony program opracowywany jest w ramach problemu rządowego PR-7 na zlecenie IMUZ Falenty dla systemu wodno-gospodarczego doliny Górnej Noteci. Program realizowany będzie na podstawie następujących założeń:

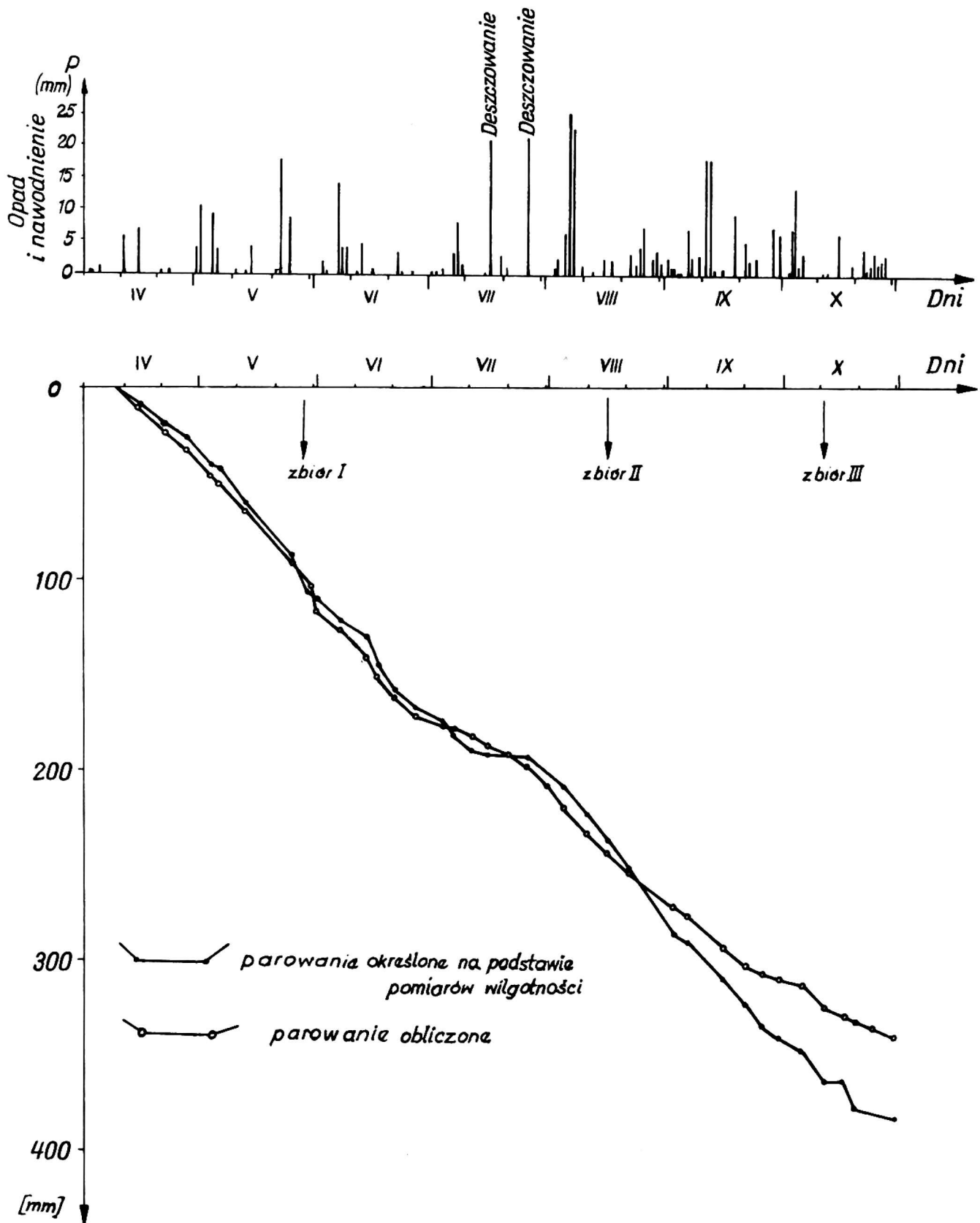
- obliczenia są prowadzone w centralnym ośrodku gospodarowania wodą,
- wyróżnia się następujące jednostki obszarowe: podsystem melioracyjny, obiekt, pole,
- potrzeby nawodnienia są ustalane kolejno dla podsystemu melioracyjnego, obiektu, pola, korzystając z obserwacji meteorologicznych prowadzonych przez IMGW oraz parametrów stałych określonych dla pola, obiektu, podsystemu melioracyjnego,
- prognozy nawodnieniowe są przekazywane do gospodarstw, które podejmują bezpośrednio decyzję o nawodnieniu,
- przewiduje się okresową kontrolę dokładności prognoz na wybranych polach. Do kontroli wykorzystane zostaną przyrządy do pomiaru wilgotności.

Aktualna wersja programu opracowana została w Zakładzie Metod Matematycznych i Statystycznych AR w Poznaniu. Do testowania programu wykorzystano materiały badawcze (meteorologiczne i glebowe) zebrane w 1978 r. na użytkach zielonych w stacji doświadczalnej Instytutu Melioracji Rolnych i Leśnych AR w Poznaniu, w Zieleńcinie.

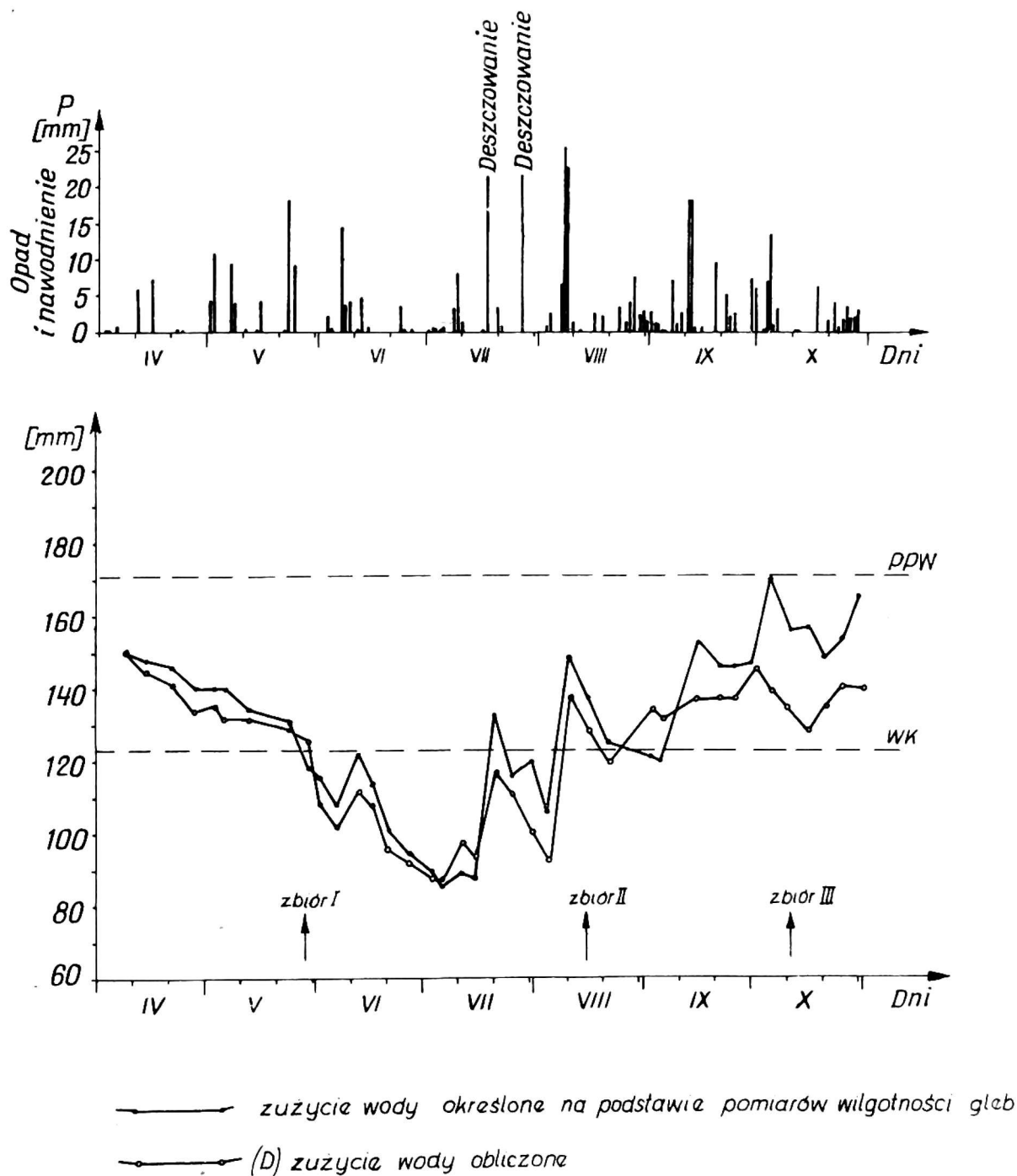
Wartości niektórych elementów wchodzących w skład wzoru Penmana przyjęto na podstawie literatury. Na etapie testowania przyjmuje się $G = 0$. Albedo przyjęto równe 0,23. Współczynniki $a_1 = 1,29$; $b_1 = 0,26$ oraz $b_2 = 0,044$ przyjęto za Jensenem i innymi [8]. Wartości współczynnika k_c określono na podstawie opracowania Roguskiego [15].

Na podstawie tych materiałów obliczono za pomocą opracowanego programu przebieg parowania terenowego w okresie wegetacyjnym. Obliczono

również przebieg zużycia wody w glebie, przyjmując, że zapas wody na początku okresu obliczeniowego w czynnej warstwie gleby był równy wielkości określonej na podstawie pomiarów wilgotności.



Rys. 1. Przebieg parowania terenowego i opadów w sezonie wegetacyjnym 1978 r.



Rys. 2. Przebieg zużycia wody w glebie i opadów w sezonie wegetacyjnym 1978 r.

Materiałem kontrolnym wykonanych obliczeń były wielkości parowania terenowego oraz przebieg zużycia wody w glebie, określone na podstawie bilansu wodnego gleby. Do sporządzenia bilansu wodnego posłużyły pomiary wilgotności w czynnej warstwie gleby, wykonywane za pomocą sondy neutronowej WO-65. Pomiary wilgotności wykonywano w odstępach 5-dniowych na głębokościach (15, 45, 75 cm) ustalonych w oparciu o zasięg sondy neutronowej. Wyniki wykonanych obliczeń oraz wielkości określonych na podstawie pomiarów wilgotności przedstawiono w formie wykresów (rys. 1 i 2).

Przedstawione dane wskazują na dobrą zgodność wykonanych obliczeń z danymi otrzymanymi z pomiarów wilgotności. Wielkości parowania w poszczególnych okresach bilansowych nie różnią się zbyt między sobą. Suma parowania terenowego za okres badań wynosi 340 mm, a oszacowana na podstawie pomiarów wilgotności 384 mm. Przez większą część okresu wegetacyjnego przebieg parowania określane obydwoma metodami jest podobny. Większe różnice w oszacowaniu parowania otrzymano dla okresu o wysokich opadach (sierpień, wrzesień, październik). Źródłem błędu jest przyjęcie założenia, że cały opad został zużyty na parowanie. Takie założenie było jednak koniecznością przy braku pomiarów odpływu powierzchniowego. Drugim źródłem błędów jest nieuwzględnienie odpływu wody z czynnej warstwy gleby w głąb profilu.

W dalszych badaniach, dotyczących wykorzystania przedstawionej metody prognozowania nawodnień, należy zwrócić uwagę na właściwe określenie opadu użytecznego (zużywanego przez rośliny) oraz uwzględnienie wpływu roślinności na parowanie przy obliczeniach dla upraw innych niż użytki zielone.

Przedstawiony materiał, pomimo szczupłości danych, wskazuje na możliwość wykorzystania w warunkach naszego kraju opisanej powyżej metody sterowania nawodnieniami. Pełniejsza ocena proponowanej metody będzie możliwa po wstępnym wdrożeniu jej w PGR województwa pilskiego.

LITERATURA

1. Baier W.: Concepts of soil moisture availability and their effect on soil moisture estimates from a meteorological budget. *Agr. Meteorol.*, 1969.
2. Baver L.D.: The meteorological approach to irrigation control. *Hawaiian Planter's Record*, 54, 1954.
3. Drupka S.: Bilansowa metoda sterowania nawodnieniami deszczownicami. Materiały instruktażowe. IMUZ, nr 20, 1976.
4. Dzieżyc J.: Nawadnianie roślin. PWRiL, Warszawa, 1974.
5. Heerman D.F., Haise H.R., Mickelson R.H.: Scheduling center pivot sprinkler irrigation systems for corn production in eastern Colorado. *Trans. ASAE* 19(2), 1976.
6. Jensen M.E.: Scheduling irrigations with computers. *J. Soil and Water Conserv.* 24, 1969.
7. Jensen M.E.: Programming irrigation for greater efficiency. In.: D. Hillel (Ed) - *Optimizing the Soil Physical Environment Toward Greater Crop Yields*. Academic Press, New York 1972.

8. Jensen M.E., Robb D.C.N., Franzoy C.E.: Scheduling irrigations using climate-crop-soil data. J. Irrig. and Drain. Div. 96(IR)1, 1970.
9. Jensen M.E., Wright J.L., Pratt B.J.: Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. Trans. ASAE 14/5, 1971.
10. Jensen M.E., Wright J.L.: The role of simulation models in irrigation scheduling. ASAE Paper No 76-2061, 1976.
11. Pierce L.T.: A practical method of determining evapotranspiration from temperature and rainfall. Trans. ASAE 12/3, 1969.
12. Rickard D.S.: A comparison between measured and calculated soil moisture deficit. N.Z.J.Sci. and Tech., 38, 1957.
13. Schefke R.: Zastosowanie sond neutronowych do badania dynamiki wilgotności gleb piaszczystych. Praca doktorska 1973.
14. Van Bavel C.H.M., Wilson T.V.: Evapotranspiration estimates as a criteria for determining time of irrigation. Agr. Eng. 33, 1952.
15. Roguski W.: Tymczasowe propozycje obliczania zapotrzebowania wody do nawodnień w rejonie Noteci Górnej dla celów programowania i projektowania. IMUZ Falenty, 1978.

Р. Шефке, А. Кэндзёра, М. Спыхальски, Я. Послушны

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ

Р е з ю м е

В статье представлена рабочая концепция метода управления орошением, основанная на данных относительно климата, почв и растений с использованием электронных вычислительных машин. Описываемый метод является приспособлением к польским условиям метода разработанного в США. Для проверки составленной программы на ЭВМ, использован материал собранный в 1978 г. на лугах и пастбищах опытной станции Института мелиорации Сельхозакадемии в Познани, находящейся в Зеленцине. На основе этих данных определена величина испарения (транспирации) и потребления воды в почве. В качестве контроля расчётов принято испарение и почвенное потребление воды, полученные из водного баланса почвы (измерения влажности проводились с помощью нейтронно зонда). Сравнение этих данных показывает, что предлагаемый метод управления орошением в условиях Польши вполне приемлемый.

R. Schefke, A. Kędziora, M. Spychalski, J. Pośluszny

A NUMERICAL METHOD FOR SCHEDULING IRRIGATIONS

S u m m a r y

The paper presents a working conception of an irrigation scheduling method. The method is based on computer calculations using climate-crop-soil data. The presented method, was worked out in the USA, and has been adapted to our country conditions.

The written computer program was tested on data collected on grassland in Zielęcín at experimental station of Institute for Land and Forest Reclamation, Academy of Agriculture, Poznań. Using these data daily evapotranspiration and soil moisture depletion were computed. As controls were used daily evapotranspiration and soil moisture depletion estimated from soil moisture balance (soil moisture measured with a neutron probe). The obtained results show that the presented irrigation scheduling method appears to be attractive for application in our country conditions.