

ADAM KRAJEWSKI

## Możliwości wykorzystania metod szacunkowych i pomiarowych do określania momentu nawadniania gleb w szkółkach leśnych

Возможности использования вычислительных и измерительных методов  
для определения момента орошения почв в лесных питомниках

Possibilities of making use of estimative and measurement methods  
for determining the moment of watering the soil in forest nurseries

### 1. WSTĘP

Zastosowanie deszczowania wymaga znajomości, w którym momencie jaką dawką i w jaki sposób należy nawadniać. Przedstawione poniżej rozważania dotyczą ustalenia momentu, w którym powinno zostać wykonane deszczowanie.

Zabieg ten należy wykonać wówczas, gdy zapas wody w glebie zaczyna być czynnikiem hamującym wzrost roślin<sup>1</sup>. Dokładność wyznaczania tego krytycznego momentu zależy od:

- poprawności ustalenia wartości potencjału wody glebowej<sup>2</sup>,
- możliwości szybkiego określania aktualnej wartości potencjału.

W wielu metodach szczegółowych za miarę stosunków wodnych gleby przyjmuje się nie potencjał wodny gleby, lecz wilgotność wagową

<sup>1</sup>) Póki w glebie występuje woda wiązana siłami o nadciśnieniu 0,7—0,8 atmosfery, póty przy umiarkowanym nawożeniu dla większości roślin panują zadowalające warunki wilgotnościowe.

<sup>2</sup>) Potencjał wody glebowej (całkowity) stanowi sumę potencjałów: osmotycznego, macierzystego i grawitacyjnego. Potencjał osmotyczny związany jest z pracą wykonaną w trakcie rozpuszczania związków chemicznych w wodzie, co wywołuje efekt ciśnienia osmotycznego wody glebowej. Potencjał macierzysty jest związany z pracą, jaka zostaje wykonana przy wiązaniu roztworu wody glebowej z cząstkami gleby, co wywołuje efekt „siły ssącej” gleby. Potencjał grawitacyjny jest związany z pracą, jaką wykonują siły ciężenia przy przemieszczaniu wody w głębsze warstwy gleby.

lub objętościową. Przy określaniu potencjału wody glebowej analizuje się praktycznie główną jego składową — potencjał macierzysty.

Metody określania momentu nawadniania można podzielić na:

- 1) metody szacunkowe a) proste i b) uwzględniające przebieg pogody,
- 2) metody pomiarowe (ryc. 1).

## 2. CHARAKTERYSTYKA METOD USTALANIA MOMENTU NAWADNIANIA

Metody szacunkowe wymagają znajomości następujących parametrów:

- 1) czynnej warstwy gleby (tj. warstwy zajętej przez główną część masy systemu korzeniowego:  $c$  (cm),
- 2) dobowej ewapotranspiracji (tj. dobowego ubytku wody z gleby i roślin do atmosfery:  $E$  (mm),
- 3) kształtowania się opadów atmosferycznych:  $O$  (mm),
- 4) zapasu wody łatwo dostępnej (wyrażonego w procentach objętości gleby):  $Wd$  (%).

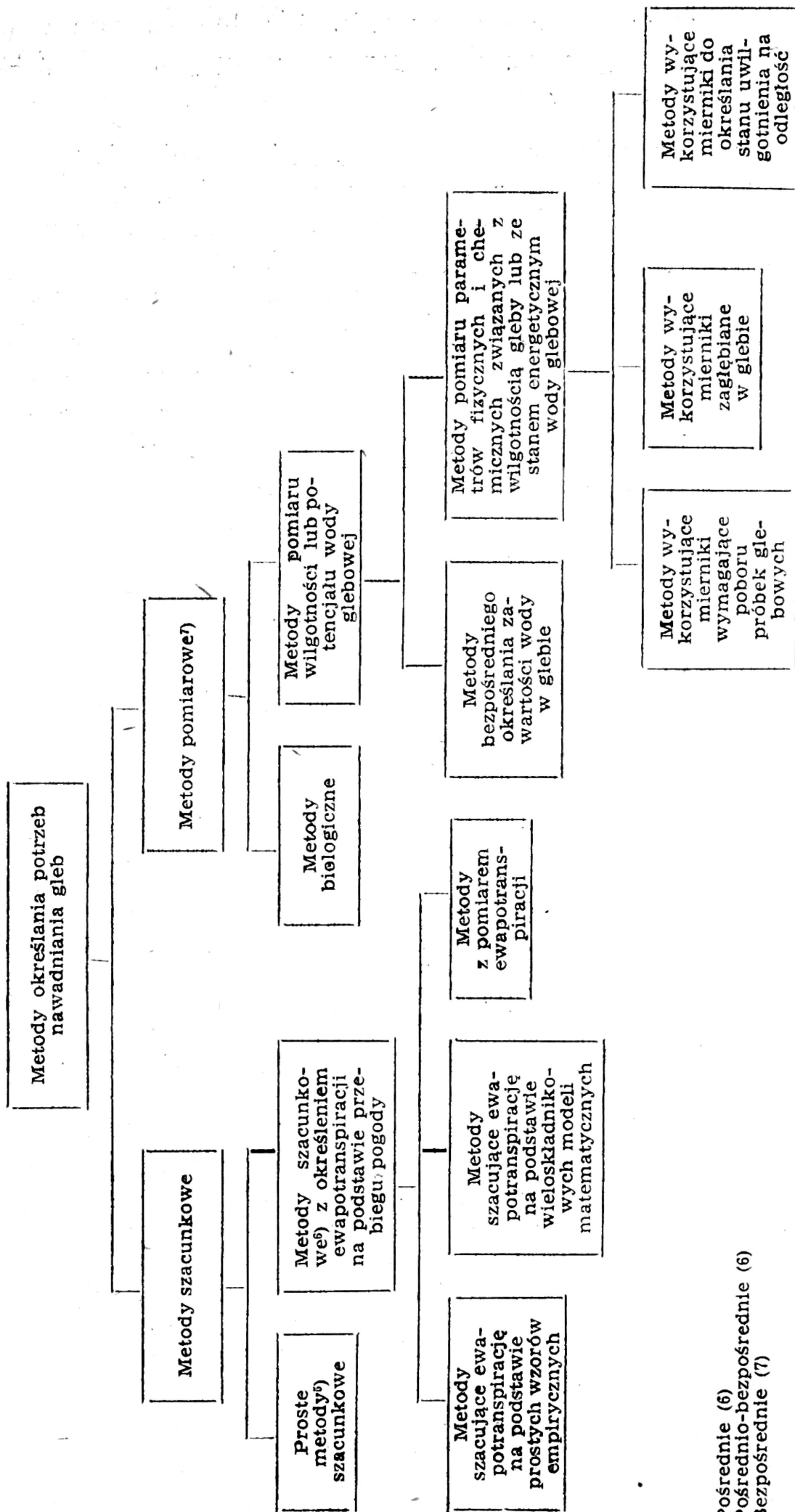
Przy stosowaniu metod szacunkowych przyjmuje się, że na początku okresu czynna warstwa gleby jest w stanie wodnej pojemności połowej, któremu odpowiada wyjściowy zapas wody —  $Z_w$ . Wynika on z właściwości fizycznych gleby oraz z grubości warstwy czynnej i może być oszacowany przy pomocy opracowanych modeli matematycznych. W metodach szacunkowych zachodzi potrzeba systematycznego określania aktualnego zapasu wody ( $Z_A$ ), zgodnie z ogólnym równaniem:

$$Z_A = Z_w - E + O$$

- $Z_A$  — aktualny zapas wody w glebie (mm)  
 $Z_w$  — wyjściowy zapas wody w glebie (mm)  
 $E$  — wielkość ewapotranspiracji (mm)  
 $O$  — wielkość opadu atmosferycznego (mm)

Gdy aktualny zapas wody w glebie osiągnie wartość odpowiadającą początkowi hamowania wzrostu roślin, wówczas należy wykonać deszczowanie. Gdy opad atmosferyczny w okresie między zabiegami deszczowania osiągnie wartość przekraczającą aktualny deficyt wody w glebie, nadwyżka traktowana jest jako odciek.

W prostych wariantach metody szacunkowej przyjmuje się stały poziom ewapotranspiracji ( $E$ ) dla poszczególnych części okresu nawodnień.



5) Pośrednie (6)

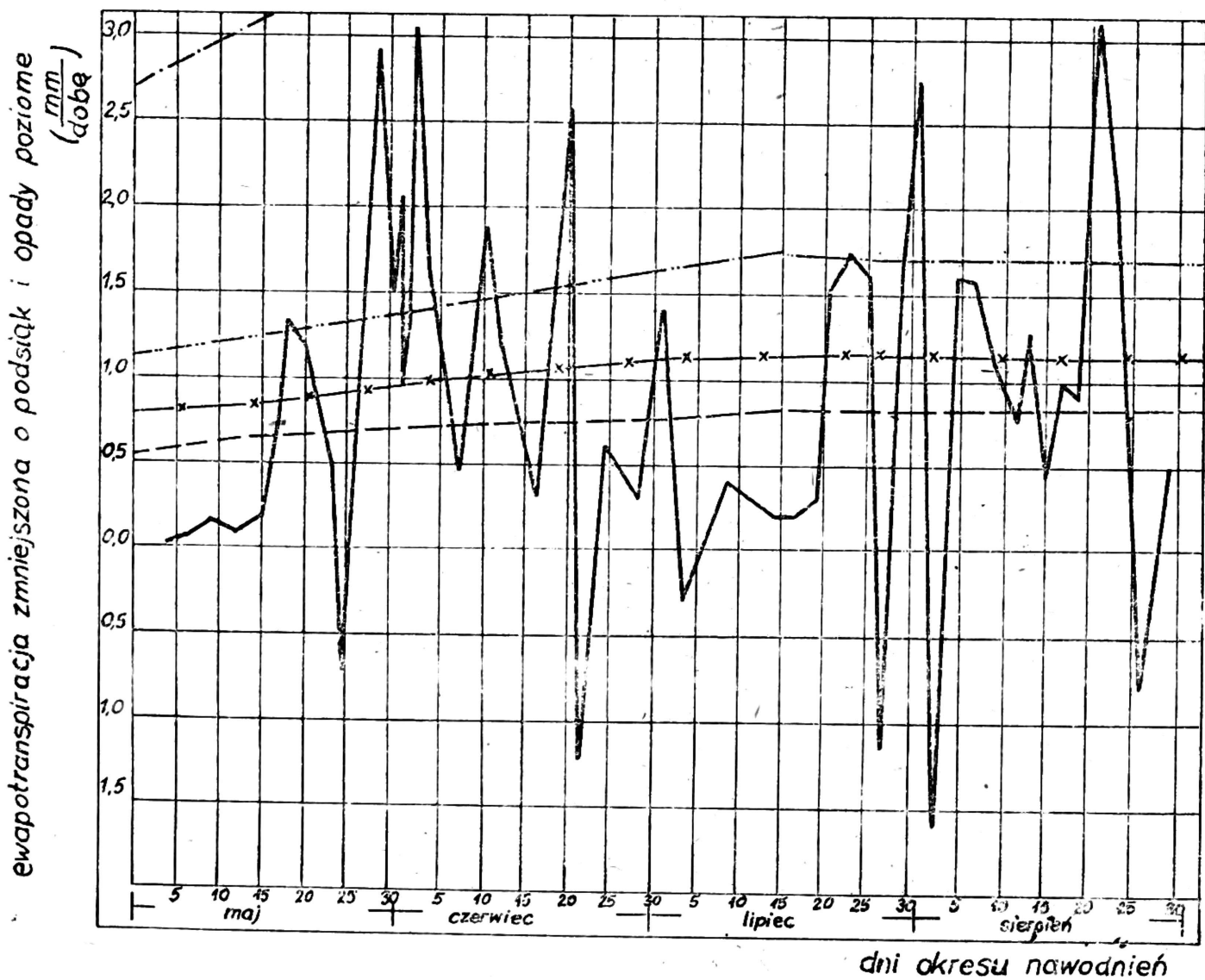
6) Pośrednio-bezpośrednie (6)

7) Bezpośrednie (7)

Ryc. 1. Klasyfikacja metod określania potrzeb nawadniania gleb

Proste metody szacunkowe nie uwzględniają zatem aktualnego przebiegu pogody. Poziom ewapotranspiracji przyjmowany jest na podstawie wyników badań podstawowych.

Prosty wariant metody szacunkowej jest obecnie stosowany w Lasach Państwowych zgodnie z obowiązującymi „Wytycznymi dotyczącymi zastosowania deszczowni w szkółkach leśnych i zadrzewieniowych” (3). Jest on oparty na schemacie, mimo że uwzględnia dwa okresy deszczowania, gatunek drzewa, rodzaj gleby i głębokość warstwy czynnej. Badania przeprowadzone w latach 1977—1980 przez Zakład Gospodarki Wodnej IBL wskazują, że prosty wariant metody szacunkowej nie jest w stanie zapewnić zupełnej racjonalności wykorzystania deszczowni w szkółkach — przynajmniej w odniesieniu do sadzonek sosny. Żaden z ubytków wody z gleby przyjętych przy ustalaniu programów deszczo-



Ryc. 2. Rzeczywisty ubytek wody z czynnej warstwy gleby (Mierzyce 1979 r. — kwatery K<sub>6</sub>, K<sub>9</sub>) na tle 4 modeli zmian ewapotranspiracji, przyjętych przy tworzeniu poszczególnych programów deszczowania



wania nie odpowiada rzeczywistemu ubytkowi wody. Wykazuje on bardzo duże wahania, które nie mogą być uwzględnione przy stosowaniu zasad prostej metody szacunkowej (ryc. 2). Zużycie wody na deszczowanie w żadnym z programów nie odpowiada zużyciu wody na deszczowanie wg rzeczywistych potrzeb. Przy stosowaniu zabiegów wg programów wynikających z prostej metody szacunkowej istnieje możliwość zbędnego zużycia o wiele za dużych, jak również zbyt małych ilości wody. W związku z tym wydaje się pożądane, aby dalsze badania koncentrowały się przede wszystkim na opracowaniu i wdrożeniu innych metod szacunkowych lub metod pomiarowych.

W bardziej skomplikowanych wariantach metody szacunkowej dobową ewapotranspiracja (E) jest ustalana z uwzględnieniem przebiegu pogody. W literaturze cytuje się wiele wzorów pozwalających na oszacowanie ewapotranspiracji. Jednak tylko jeden znalazł zastosowanie w formie normatywu (1). Jest to wzór Klatta. W postaci podawanej przez Simona i Schuberta (5) wygląda on następująco:

$$Y = \frac{1}{30} \times \left( 2t + \frac{1}{5}t^2 \right) - 0,04(F - 0,80)$$

Y = dobowe, klimatyczne zapotrzebowanie na wodę (mm),

t = średnia temperatura dobową  $\frac{t_{\max} + t_{\min}}{2}$  (°C),

F = średnia wilgotność powietrza w danym dniu (%).

Wzór ten może być wyrażony w formie nomogramu. W takiej też formie został przedstawiony w niemieckich normach szkółkarskich. W szkółkarstwie zaleca się po wschodach stosować redukcję Y przy użyciu współczynnika 0,7, ze względu na mniejsze zapotrzebowanie wodne sadzonek leśnych (5). We wspomnianej normie (1) podana jest wyższa wartość tego współczynnika (0,8). Ponadto zaleca się w niej brać wilgotność względną powietrza z pomiaru o godz. 10.00. Prawdopodobnie ma to na celu dostosowanie metody do praktycznego stosowania. Simon i Schubert wyrażają pogląd, że w odniesieniu do gleb z dużym udziałem części pyłowych oraz gleb z wysokim poziomem wody gruntowej metoda Klatta daje zbyt duże wartości ewapotranspiracji. W czasie badań w Mierzycach (7) metoda Klatta dała wartości zbyt wysokie, wymagające użycia współczynników redukcyjnych nie 0,7—0,8, lecz 0,2—0,3. Wiąże się to z zupełnie innym rzędem wielkości wyników uzyskiwanych przy stosowaniu metody Klatta i wyników uzyskanych z badań zużycia polowego. Jeszcze bardziej niepokojący był tu brak współzależ-

ności między ewapotranspiracją wg Klatta i ubytkiem efektywnym wody. W szkółce w Mierzycach przeważał piasek gliniasty lekki z dużą zawartością pyłu.

W dotychczas przedstawionych metodach ewapotranspiracja była szacowana. Może być również bezpośrednio mierzona. Między innymi ze względu na stopień skomplikowania te ostatnie metody nie roszą większych nadziei na powszechne zastosowanie w szkółkach leśnych.

W ostatnim czasie wiele badań koncentruje się na opracowaniu metod pomiarowych do ustalania potrzeb nawodnieniowych. Metody pomiarowe mogą się opierać na kryteriach biologicznych lub glebowych. Przy zastosowaniu kryteriów biologicznych dokonuje się pomiaru różnych wskaźników zaopatrzenia roślin w wodę, np. turgoru komórek, stężenia soku komórkowego w organach asymilacyjnych lub wielkości transpiracji. Metody biologiczne mają wiele wad: dane są otrzymywane zbyt późno, koszt pomiarów jest wysoki, nie dają możliwości zautomatyzowania zabiegów deszczowania.

W metodach pomiarowych opartych na kryteriach glebowych decyzja o deszczowaniu jest podejmowana na podstawie bezpośredniej wilgotności gleby lub potencjału wodnego gleby, bądź na podstawie pomiaru różnych parametrów fizycznych i chemicznych ściśle związanych ze stanem uwilgotnienia gleby lub stanem energetycznym wody glebowej. W metodach tych mieszczą się zarówno sposoby bezpośredniego określania zawartości wody w glebie, jak i sposoby wykorzystujące pomiar parametrów fizycznych i chemicznych związanych z wilgotnością gleby lub stanem energetycznym wody glebowej. Metody wykorzystujące wspomniane zależności podzielić można ze względu na specyfikę stosowanych w nich mierników na trzy grupy przedstawione na ryc. 1, choć może być stosowana również inna klasyfikacja (4). Mierniki te są na ogół sprzętem drożym i skomplikowanym. Uwzględniając sygnalizowaną w literaturze dokładność mierników, należy zwrócić uwagę na trzy grupy przyrządów: urządzenia tensjometryczne, delkometryczne i mikrofalowe.

### **Metoda tensjometryczna**

Tensjometry służą do określania macierzystego potencjału wody glebowej (tzw. „siły ssącej” gleby). Dzielą się na rtęciowe i wakuometryczne. W praktyce są podejmowane próby zastosowania w szkółkach tensjometrów wakuometrycznych.

Urządzenia tensjometryczne są miernikami stosunkowo niedrogimi oraz stwarzają możliwość zautomatyzowania zabiegów nawodnieniowych. Wymaga to zastosowania tzw. wakuometrów kontaktowych. Przy wy-

stąpieniu krytycznej wartości potencjału wodnego gleby wskazówka wakuometru kontaktowego zamyka elektryczny obwód wzbudzający pracę pompy deszczowni. Obwód ten wymaga dodatkowego zamknięcia przez urządzenia zegarowe. Następuje to w określonych odstępach czasu, tak aby wyeliminować sytuację równoczesnego deszczowania wszystkich kwater szkółki. Agregat pompowy jest uruchomiony tylko wtedy, gdy obwód jest zamknięty we wszystkich punktach.

Niemiecki system doszczowania wg normy TGL 27248/06 przewiduje ponadto urządzenia zabezpieczające przed awarią (np. manometry kontaktowe), które przerywają przepływ prądu w przypadku nadmiernego wzrostu lub spadku ciśnienia wody w rurociągach. Również czas pracy deszczowni jest regulowany automatycznie — wyłączenie następuje po czasie przewidzianym w programie.

Zarówno dla automatycznego jak i ręcznego sterowania deszczowania przy stosowaniu metody tensjometrycznej przewiduje się użycie tensjometrów zgrupowanych w bloki, tj. co najmniej 2 tensjometrów na głębokości 5 cm i 2 tensjometrów na głębokości 15 cm. Odstęp między tensjometrami w bloku musi wynosić co najmniej 1 m.

W latach 1979 i 1980 Zakład Gospodarki Wodnej IBL prowadził badania nad przydatnością urządzeń tensjometrycznych do określania potrzeb nawadnienia gleb w szkółkach leśnych (7). Testowane były tensjometry wakuometryczne używane w szkółkach w NRD oraz tensjometry typu IMUZ. Testowano 7 tensjometrów w 3 etapach sezonu nawodnieniowego z różną głębokością umieszczenia sącza ceramicznego. Dwa pierwsze etapy nie dały w ogóle wyraźnej reakcji. W trzecim etapie uzyskano reakcję pięciu tensjometrów. Nawet wówczas deszczowanie na podstawie wskazania tensjometru łączyło się z dużym ryzykiem podjęcia błędnej decyzji, tj. deszczowania mimo braku potrzeby, jak i niedeszczowania mimo istnienia faktycznej potrzeby. Jeden z tensjometrów niemieckich testowano dodatkowo przy większym zagłębieniu sącza ceramicznego. Uzyskane wyniki były lepsze niż we wspomnianych trzech etapach. Tensjometry badano jako pojedyncze przyrządy, bez łączenia w bloki.

Z badań tych wynika, że:

- 1) tensjometry są mało przydatne w pierwszych fazach produkcji sadzonek,

- 2) prawdopodobieństwo podejmowania błędnych decyzji przy stosowaniu pojedynczych przyrządów jest duże (nawet przy głębszym instalowaniu, a więc także w późniejszym okresie produkcji sadzonek),

- 3) w trzecim etapie reakcja tensjometrów niemieckich była zdecydowanie bardziej wyraźna niż tensjometrów polskich.

Różnice w ocenie pojedynczych tensjometrów różnych produkcji wynikają prawdopodobnie z odmiennych sposobów napełniania ich wodą. Różnice w ocenie przydatności metody spotykane u różnych badaczy wynikają prawdopodobnie z oceny mierników pojedynczych i zgrupowanych w bloki.

### **Metoda delkometryczna**

W przyrządzie delkometrycznym wykorzystana jest zależność między przenikalnością dielektryczną pola elektrycznego w glebie (wytworzonego na zewnątrz kondensatora pomiarowego) a stanem uwilgotnienia gleby. Im większa jest wilgotność gleby, tym większy jest przyrost elektrycznej pojemności kondensatora. Przyrost ten jest rejestrowany na mierniku wychyłowym. Wydaje się, że metoda delkometryczna również stwarza pewne perspektywy automatyzacji deszczowania. Obecnie jednak brak jest jakichkolwiek rozwiązań technicznych w tym zakresie.

### **Metoda mikrofalowa**

Miernik mikrofalowy jest polską specjalnością. Było to bodźcem do podjęcia badań nad przydatnością miernika mikrofalowego do oznaczania momentu deszczowania szkółek leśnych (7). Metoda mikrofalowa opiera się na dużej stratności dielektrycznej wody przy częstotliwości pola elektrycznego zbliżonej do wartości  $10^{10}$  Hz. Przy tej częstotliwości woda absorbuje energię fal elektromagnetycznych kilka tysięcy razy silniej niż sucha gleba o tej samej objętości. Miernik daje wyniki dosyć dokładne, lecz również i tutaj istnieje pewne ryzyko błędu przy ustaleniu momentu potrzeby deszczowania, przy czym koszt miernika jest bardzo duży.

## **3. PODSUMOWANIE**

Biorąc pod uwagę dane z literatury, jak również wstępne wyniki badań Zakładu Gospodarki Wodnej Instytutu Badawczego Leśnictwa, najbardziej praktyczne i rokujące nadzieje na wdrożenie do stosowania w szkółkach leśnych są metody szacunkowe i tensjometryczne. Przy ręcznym sterowaniu deszczownią właściwe wydają się metody szacunkowe, z uwzględnieniem przebiegu pogody. Zastosowanie tej metody w praktyce wymaga dokładniejszego ustalenia związku między ewapotranspiracją a charakterystykami pogody w warunkach szkółek leśnych.

W przypadku dążenia do automatyzacji deszczowania najbardziej realną możliwość stwarzają tensjometry, pod warunkiem stosowania spo-



sobu napełniania przyrządów przyjętego w miernikach produkcji NRD oraz łączenia mierników w bloki. Istnieje także możliwość przystosowania metod szacunkowych do automatyzacji sterowania deszczownią.

#### LITERATURA

1. Fachbereichstandard — Forstpflanzenproduktion, Berechnung, TGL 27248/06.
2. IMUZ — Falenty. Samodzielna Pracownia Urządzeń Prototypowych, Pracownia Nawodnień Deszczownianych: Tensjometr wakuometryczny. Wiad. Melior. i Łąk. 1978 nr 1.
3. Lasy Państwowe. Naczelny Zarząd Lasów Państwowych i Instytut Badawczy Leśnictwa: Wytyczne dotyczące zastosowania deszczowni w szkółkach leśnych i zadrzewieniowych. Warszawa 1978.
4. Malicki M.: Przegląd metod pomiaru wilgotności gleb i ocena ich przydatności w badaniach polowych. Problemy Agrofizyki 1980 nr 31.
5. Simon K.H., Schubert J.: Zur Steuerung der Berechnung in Forstbaumschulen. Beitr. Forstwirtsch. 1975 Jg. 9 Nr. 2.
6. Tomaszewski K.J., Krajewski A.: Niektóre zagadnienia deszczowania szkółek leśnych. Sylwan R. 123 nr 3.
7. Tomaszewski K.J., Chrzanowski A.: i inni: Wpływ deszczowania i nawożenia mineralnego na wydajność i niektóre charakterystyki jakości jednorocznej sosny w szkółkach leśnych. Dokumentacja. Warszawa: IBL 1980.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 13 stycznia 1982 r.

#### Краткое содержание

В свете исследований проведенных в Отделе Водного Хозяйства Научно-Исследовательского Института Леса в Варшаве, применение дождевания в лесных питомниках согласно схеме, без учета изменений эвапотранспирации вызванных изменениями погоды создает большой риск ошибочного определения момента, в котором должно быть проведено это мероприятие. С этим связаны возможности как слишком большого дождевания, ведущего к потерям воды и энергии, а также вымыванию удобрений, так и слишком редкого дождевания.

В работе предпринята попытка оценки методов применяемых в настоящее время, а также попытка представления современных трендов в решении проблемы определения момента появления необходимости дождевания лесного питомника. Представлено деление методов касающихся этой проблемы. Большинство из них не вышло за пределы вступительных исследований и далеко еще им до введения в практику. Много методов, дающих относительно точные результаты отпадает из-за слишком высокой стоимости применения в питомниковой продукции.

## Summary

In the light of studies conducted in the Section of Water Economy of Forest Research Institute in Warsaw, the application of watering in forest nurseries according to a diagram, without taking into account changes in the evapotranspiration due to weather changes, makes up a great risk of misguided determination of the moment at which the treatment should be done. This can lead both to an excessive watering, and in consequence to losses of water and energy and leaching of nutrients, and to a too rare watering.

In the paper, the author tries to evaluate nowadays applied methods and to present the today's trends of the solution of the problem of determining the moment when the watering of forest nurseries is necessary. He presents various methods concerning this question. The majority of them are still in experimentation stage, far from introduction into practice. Many methods giving relatively exact results cannot be applied in forest nurseries because of their very high cost.