

OKREŚLANIE PARAMETRÓW NAWODNIEN KROPOLOWYCH  
Z ZASTOSOWANIEM METODY SYMULACYJNEJ

Piotr Hewelke

Katedra Melioracji Rolnych i Leśnych

1. Wstęp

Nawodnienia kropłowe powinny zapewniać uwilgotnienie gleby odpowiadające aktualnym potrzebom roślin w przestrzeni dopasowanej do układu ich masy korzeniowej. Proces nawodnienia może zatem obejmować tylko część uprawianej powierzchni pola i odbywa się praktycznie z pominięciem retencji głębokiej. Postulowany stan uwilgotnienia powinien być osiągniany jednocześnie przy jak najmniejszych przepływach wody poza strefę korzeniową. Prawidłowy dobór parametrów nawodnienia jest więc uwarunkowany znajomością dynamiki uwilgotnienia zwilżanej gleby. Celem pracy jest zaprezentowanie możliwości zastosowania metody symulacyjnej w ustalaniu parametrów technicznych nawodnień kropłowych na przykładzie systematycznej sieci emiterów liniowych.

2. Podstawy teoretyczne

Do opisu przepływu wody w glebie przy nawodnieniach kropłowych najczęściej stosuje się równanie Richardsa w formie liniowej (Philip 1968, Raats 1970, Warrick 1974, Lomen 1974). Dla przypadku infiltracji stacjonarnej ze źródła punktowego równanie bilansu masy można przedstawić w postaci (Raats 1970):

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r\theta u + \frac{\partial \theta v}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

gdzie:

$r, z$  - radialna i pionowa współrzędne układu,

$u, v$  - radialna i pionowa składowe prędkości,

$\theta$  - wilgotność gleby odniesiona do jednostki objętości.

Składowe  $\theta u$  i  $\theta v$  zgodnie z prawem Darcy można zapisać jako:

$$\theta u = - \frac{\partial \phi}{\partial r} \quad \theta v = - \frac{\partial \phi}{\partial z} + K(\phi) \quad (2)$$

gdzie:

$K$  - przewodność hydrauliczna gleby,

$\phi$  - potencjał przepływu macierzystego zdefiniowany jako  
(Kirchoff ok. 1880, Gardner 1958):

$$\phi = \int_{h_0}^h K(h) dh \quad (3)$$

gdzie  $h$  - ciśnienie ssące gleby.

Uwzględniając równanie (2) w równaniu (1) uzyskuje się:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{\partial K}{\partial z} \quad (4)$$

Dla uproszczenia równania przepływu wprowadza się związek zaproponowany przez Gardniera (1958):

$$K(h) = K_f \exp(\alpha h) \quad (5)$$

gdzie:

$K_f$  - przewodność hydrauliczna gleby nasyconej,

$\alpha$  - wielkość stała charakterystyczna dla danej gleby.

Uwzględniając związek wyrażony równaniem (5) w równaniu (3) można zapisać, że:

$$K = \alpha \phi \quad (6)$$

Podstawiając zależność (6) do równania (4) uzyskuje się jego liniową formę w postaci:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \alpha \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (7)$$

Dla linii nawadniającej z emiterami rozmieszczonymi blisko siebie nakładanie się stref zwilżonych następuje w krótkim okresie czasu, a więc całkowicie nawodniona powierzchnia ma formę nieskończenie długiego pasa. Orientując wzdłuż niego oś  $y$ , przepływ staje się od tej współrzędnej niezależny i zadanie może być rozpatrywane jako płaskie  $(x, z)$ . W związku z powyższym równanie przepływu dla przypadku emitera liniowego może być zapisane w postaci (Raats 1970):

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \alpha \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (8)$$

Dla rozwiązań przypadków niestacjonarnych zachowanie liniowości równania przepływu wymaga przyjęcia, że  $\frac{d\theta}{d\phi}$  jest wartością stałą. Przyjmując, że:

$$\frac{d\theta}{d\phi} = \frac{\alpha}{k}, \quad k = \frac{dK}{d\theta} \quad (9)$$

liniowe równanie przepływu z uwzględnieniem członu źródłowego  $S$  może być zapisane w ogólnej postaci jako (Warrick 1974):

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{k}{\alpha} \nabla^2 \phi - k \frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{k}{\alpha} S \quad (10)$$

W rozwiązaniach liniowych równań przepływu zachodzącego w wyniku liniowej lub punktowej dystrybucji wody do gleby, wielu autorów stosuje metody analityczne zaproponowane przez Carslawa i Jaegera (1959) do opisu przepływu ciepła w ciałach stałych. Szczegółowe rozwiązania dla przypadków stacjonarnych podają Philip (1968, 1971) i Raats (1970, 1971) oraz dla niestacjonarnych Warrick (1974, 1976) i Lomen (1974).

### 3. Ustalanie parametrów technicznych nawodnień

Uwilgotnienie w nawadnianej glebie jest kształtowane przez czynniki niezależne oraz parametry ustalane w trakcie projektowania, które można sklasyfikować następująco:

I Czynniki niezależne: Zespół cech środowiskowych reprezentowanych przez przewodność hydrauliczną gleby i ewapotranspirację.

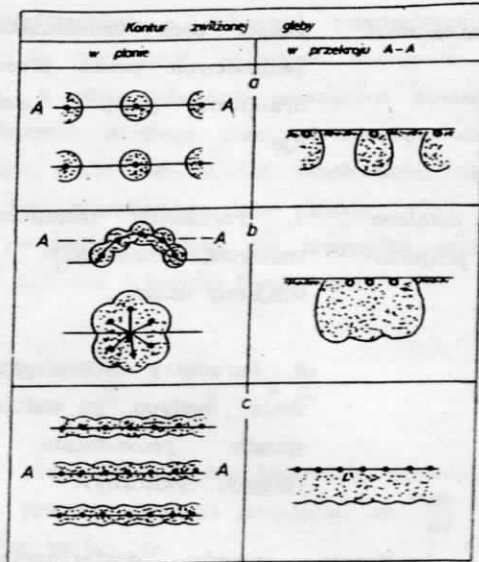
II Parametry ustalane w trakcie projektowania

1. Parametry techniczne: rodzaj emiterów, lokalizacja emiterów, wzajemny układ,

2. Parametry technologiczne: natężenie wypływu z emitera, czas i sposób prowadzenia nawodnienia (ciągły, cykliczny).

O doborze określonego sposobu dostarczania wody i rozwiązaniach technicznych decyduje głównie rodzaj nawadniającej rośliny oraz warunki glebowe. Innymi istotnymi kryteriami są wymagania uprawowe i organizacyjne. Najczęściej spotykane schematy układu emiterów dla lokalizacji sieci na powierzchni terenu przedstawiono na rys. 1 (Pierzgalski 1984).

W układzie punktowym emiterzy zwilżają glebę niezależnie i sposób taki jest stosowany zazwyczaj dla roślin uprawianych w znacznych odległościach. Układ skupiony stosuje się dla zwilżenia większej bryły gleby, w przypadkach roślin o rozbudowanym systemie korzeniowym. W układzie liniowym poszczególne linie nawadniające mogą pracować bez wzajemnego oddziaływania lub w układzie interakcyjnym. W pierwszym przypadku uzyskuje się nawodnione pasy gleby, w drugim natomiast nawodniona zostaje cała powierzchnia pola między liniami. Sposoby te mają zastosowanie do upraw rzędowych przy małej odległości między roślinami.



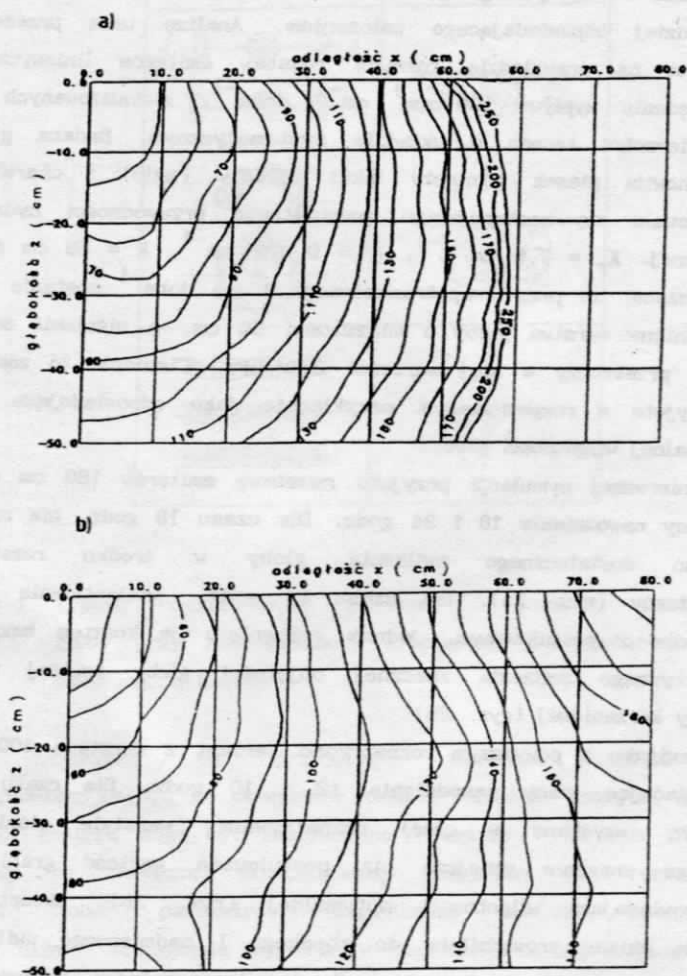
Rys.1. Typowe rozmieszczenie emiterów i kontury zwilżonej gleby przy nawodnieniach kropkowych: a-punktowe, b-skupione, c-liniowe

W zależności od przyjętego wariantu techniczno-eksploatacyjnego, do określenia układu ciśnień ssących gleby wokół emitera mogą być zastosowane równania 7, 8 lub 10. Z uwagi na zazwyczaj skomplikowany charakter ich rozwiązań oraz dobór parametrów nawodnienia metodą kolejnych przybliżeń, szczególnie wygodne w zastosowaniu są opracowane w KMRiL SGGW programy symulacyjne MNK2 i MNK3 (Hewelke P. 1992). W programach tych wykorzystano wspomniane powyżej rozwiązania analityczne (Philip 1968, 1971, Warrick 1974, 1976, Lomen 1974), wymagające znajomości przewodności hydraulicznej gleby wyrażonej w funkcji eksponentyjnej (równ. 5). Zastosowanie programów MNK2 (zadania płaskie) i MNK3 (zadania trójwymiarowe) umożliwia symulację procesu zwilżania gleby dla różnych parametrów technicznych i eks-

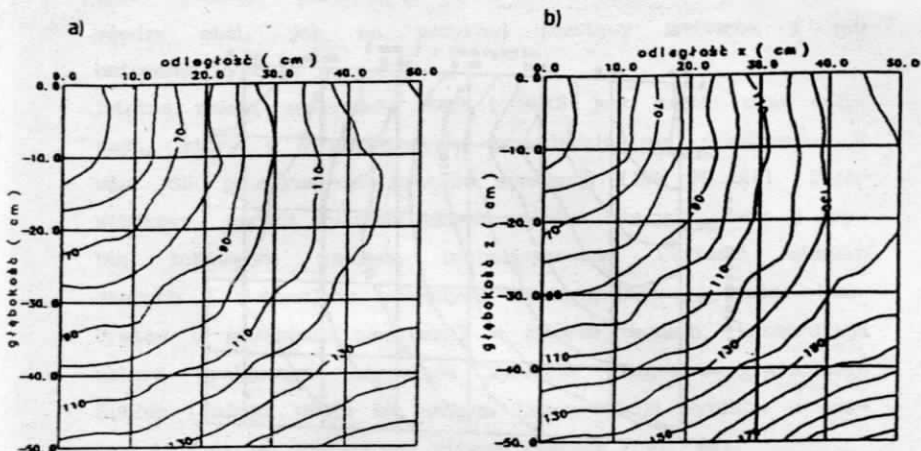
ploatacyjnych systemu. Pozwala to każdorazowo na analizę układu sił ssących gleby, a w efekcie na wybór wariantu najbardziej odpowiadającego założeniom. Analizę taką przedstawiono na przykładzie różnych rozstaw emiterów liniowych o natężeniu wypływu  $300 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-1} \text{ doba}^{-1}$ , zlokalizowanych na powierzchni terenu w układzie systematycznym. Badana gleba stanowiła piasek gliniasty lekki pylasty (pglp) i charakteryzowała się następującymi parametrami przewodności hydraulicznej:  $K_f = 7,0 \text{ cm d}^{-1}$ ,  $\alpha = 0,022 \text{ cm}^{-1}$ ,  $k = 58 \text{ cm d}^{-1}$ . Założono, że przy ewapotranspiracji  $3 \text{ mm doba}^{-1}$  zostanie nawodniona warstwa gleby o miąższości  $50 \text{ cm}$ , a ciśnienie ssące nie przekroczy w niej wartości  $200 \text{ hPa}$ . Ciśnienie to zostało przyjęte w rozpatrywanym przykładzie jako odpowiadające optymalnej wilgotności gleby.

W pierwszej symulacji przyjęto rozstaw emiterów  $160 \text{ cm}$  oraz czasy nawodnienia  $18$  i  $24 \text{ godz.}$  Dla czasu  $18 \text{ godz.}$  nie uzyskano dostatecznego zwilżenia gleby w środku rozstawy emiterów (rys. 2a). Dla czasu  $24 \text{ godz.}$ , uwilgotnienie było zgodne z postulowanym, jednak osiągnięto je kosztem bezproduktywnego zwilżenia znacznej objętości gleby poniżej warstwy korzeniowej (rys. 2b).

W związku z powyższym rozpatrzono wariant z rozstawem  $100 \text{ cm}$  zakładając czasy nawodnienia  $12$  i  $10 \text{ godz.}$  Dla czasu  $12 \text{ godz.}$  uzyskano w całej rozpatrywanej warstwie ciśnienia ssące znacznie mniejsze niż postulowana wartość graniczna odpowiadająca wilgotności optymalnej (rys. 3a). Akceptacja tego układu prowadziłaby do zbędnego i nadmiernego uwilgotnienia gleby, a w konsekwencji do nieoszczędnego gospodarowania wodą. Skrócenie czasu nawodnienia do  $10 \text{ godz.}$  pozwoliło zmniejszyć wielkość dawki nie przekraczając jednocześnie założonej wartości ciśnienia ssącego (rys. 3b).



Rys.2. Układ ciśnienia ssącego w glebie pglp przy rozstawie emiterów 160 cm i czasie nawodnienia a) 18 godz., b) 24 godz.

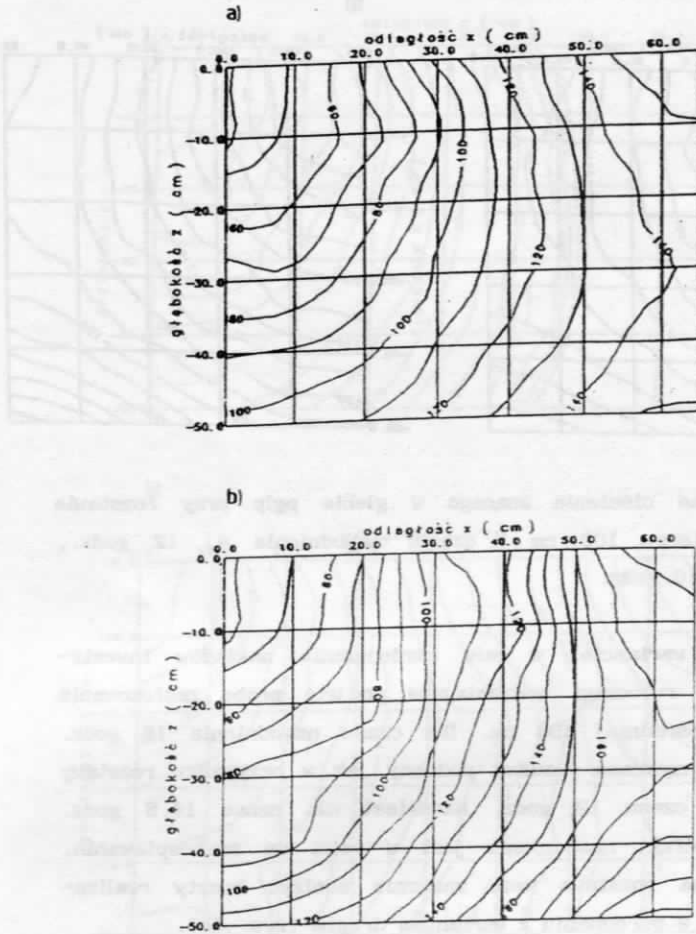


Rys.3. Układ ciśnienia ssącego w glebie pglp przy rozstawie emiterów 100 cm i czasie nawodnienia a) 12 godz., b) 10 godz.

W trzecim wariantcie, w celu zmniejszenia nakładów inwestycyjnych na rurociągi nawadniające podjęto próbę zastosowania rozstawy pośredniej 130 cm. Dla czasu nawodnienia 18 godz. (rys. 4a) uzyskano rezultat podobny jak w przypadku rozstawy 100 cm i czasu 12 godz. Natomiast dla czasu 14,5 godz. osiągnięty efekt nawodnienia jest w pełni do zaakceptowania, a zwiększona rozstawa może znacznie obniżyć koszty realizacji systemu w porównaniu z wariantem drugim (rys. 4b). Dla ostatecznego wyboru rozstawy emiterów należy dokonać analizy zużycia wody do realizacji postulowanego stanu uwilgotnienia.

W pierwszym wariantcie, dla czasu 48 godz. ilość podanej wody w przeliczeniu na 1 m długości emitera i 1 m szerokości nawadnianego pasa wyniosła  $37,5 \text{ dm}^3$ . W drugim wariantcie dla czasów nawodnienia 12 i 10 godz. podano dawki 15 i  $12,3 \text{ dm}^3$ .



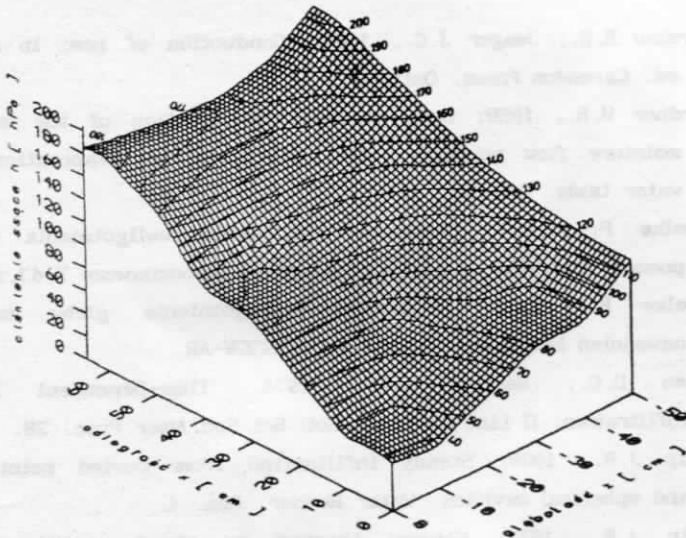


Rys.4. Układ ciśnienia ssącego w glebie pglp przy rozstawie emiterów 130 cm i czasie nawodnienia a) 18 godz., b) 14,5 godz.

W wariancie trzecim dawki te wynosiły dla czasów 18 i 14,5 godz. odpowiednio 17,3 i 13,8 dm<sup>3</sup>. Ponieważ dawka nawodnieniowa przy rozstawie emiterów 100 cm jest tylko o ok. 10% mniejsza niż przy rozstawie 130 cm to wydaje się, że w większości przypadków będzie przyjmowany wariant trzeci jako zdecydowanie oszczędniejszy pod względem materiałowym i eksploatacyjnym.

Badania symulacyjne stwarzają możliwość analizowania nie tylko jednego parametru, lecz również wzajemnych relacji między nimi, jak na przykład rozstawy emiterów i ich natężenia wpływu.

Istotną zaletą programów MNK2 i MNK3 jest krótki czas obliczeń, który w rozpatrywanym przykładzie nie przekraczał 8 min. dla pojedynczego procesu symulacji (IBM PC AT). Zbiór wynikowy, oprócz wykresu układu ciśnień ssących gleby w trybie tekstowym zawiera stabelaryzowane wartości ciśnień ssących i potencjału przepływu macierzystego w siatce kwadratów o podstawie zadawanej w zbiorze danych. Konstrukcja zbioru wynikowego odpowiada wymogom programu graficznego Surfer (Tański 1991) co ułatwia interpretację wyników w postaci izolinii lub powierzchni ciśnień ssących (rys. 5).



Rys. 5. Powierzchnia ciśnień ssących gleby przy rozstawie emiterów 130 cm i czasie nawodnienia 14,5 godz.

#### 4. Wnioski

1. Programy MNK2 i MNK3 pozwalają na szybkie ustalenie układu ciśnień ssących w glebie dla określonych warunków środowiskowych przy różnych rozwiązaniach technicznych i eksploatacyjnych nawodnień kropłowych. Umożliwiają zatem symulację procesu nawodnienia i analizę przyjętych parametrów technicznych.

2. Metoda symulacyjna jest szczególnie przydatnym sposobem doboru parametrów nawodnienia. Pozwala ona na dobór wariantu techniczno-eksploatacyjnego zapewniającego nie tylko postulowaną wilgotność gleby, ale również rozwiązania najbardziej oszczędne z punktu widzenia zużycia wody i materiałów na konstrukcję systemu.

#### Literatura

- Carlslaw H.S., Jeager J.C., 1959: Conduction of heat in solids 2nd ed. Carendon Press, Oxford.
- Gardner W.R., 1958: Some steady-state solution of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. Soil Sci. 85.
- Hewelke P., 1992: Podstawy regulowania uwilgotnienia gleby za pomocą nawodnień kropłowych. Roczniki Gleboznawcze T.43, z.3/4.
- Hewelke P., 1992: Regulowanie uwilgotnienia gleby za pomocą nawodnień kropłowych. Wydawnictwa SGGW-AR.
- Lomen D.O., Warrick A.W., 1974: Time-Dependent linearized infiltration: II Line Sources. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 38.
- Philip J.R., 1968: Steady infiltration from buried point sources and spherical cavities. Water Resour. Res. 4.
- Philip J.R., 1971: General theorem on steady infiltration from surface sources, with application to point and line sources. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 35.
- Pierzgalski E., 1984: Gospodarka wodna w glebie przy nawodnieniach kropłowych na tle fizjologicznych potrzeb roślin. Materiały z konf. naukowo-technicznej SGGW "Projektowanie i eksploatacja systemów nawodnień kropłowych".

- Raats P.A.C., 1970: Steady infiltration from line sources and furrows. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 35.
- Raats P.A.C., 1971: Steady infiltration from point sources, cavities and basins. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 35.
- Tański T., 1991: Surfer. Wyd.PLJ, Warszawa.
- Warrick A.W., 1974: Time-Dependent Linearized Infiltration. I. Point Sources. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 38.
- Warrick A.W., Lomen D.O., 1976: Time dependent linearized infiltration. III. Strip and disc sources. Soil Sci.Soc.Am. J. Vol. 40.