

PIOTR HEWELKE

PODSTAWY REGULOWANIA UWILGOTNIENIA GLEBY
ZA POMOCĄ NAWODNIEŃ KROPOLOWYCH

Katedra Melioracji Rolnych i Leśnych SGGW w Warszawie

WSTĘP

System nawadniający powinien spełniać trzy podstawowe postulaty, mianowicie doprowadzać wodę o odpowiedniej jakości, w określonej ilości i czasie. Realizacja tych celów odbywa się przy zastosowaniu różnych technik i strategii. Technika nawodnienia bardzo często ogranicza możliwość stosowania strategii najwłaściwszej z punktu widzenia rośliny. Tradycyjne techniki nawodnień, przystosowane zazwyczaj do okresowej ingerencji w uwilgotnienie gleby, pozwalają na wytworzenie co najwyżej warunków suboptymalnych. Przy ich zastosowaniu niezwykle istotnym problemem jest ustalenie wielkości retencji, która może być wyczerpana z profilu glebowego w okresie międzynawodnieniowym. W fazie projektowania systemu melioracyjnego może być ona przyjmowana jako stała, natomiast w fazie eksploatacji należy uwzględnić jej dynamiczny charakter (m.in. Hewelke [3], Żakowicz [13]). Dynamiczny charakter retencji wynika z przebiegu warunków zewnętrznych, głównie atmosferycznych, które w sposób zasadniczy wpływają na strategię rośliny w odniesieniu do gospodarowania wodą i energią. Powoduje to, że zahamowanie przyrostu biomasy może następować przy poziomie uwilgotnienia gleby traktowanym w praktyce melioracyjnej jeszcze jako woda łatwo dostępna dla roślin.

Idea bezstresowego gospodarowania wodą może być realizowana przez zastosowanie mikronawodnień, które pozwalają na podawanie w sposób ciągły lub z dużą częstotliwością małych dawek nawadniających, odpowiadających aktualnym potrzebom roślin. Taki sposób podawania wody zapewniają m.in. nawodnienia kropłowe, przy których jej dostarczanie odbywa się bezpośrednio do strefy korzeniowej roślin. Zwilżenie powierzchni gleby następuje tylko na określonym obszarze dopasowanym do rozkładu masy korzeniowej roślin. Pozostała część powierzchni uprawnej pozostaje nie nawodniona, co powoduje, że system ten stanowi technikę wybitnie zasobo- i energooszczędną. Możliwość

doprowadzenia wody bezpośrednio do rośliny w praktycznie dowolnym czasie pozwala na bieżącą regulację podstawowych procesów energetycznych układu gleba-roślina-atmosfera i stwarza warunki do informatycznego sprzężenia między środowiskiem a systemem nawadniającym. Przebieg nawodnienia i dynamika uwilgotnienia gleby przy zastosowaniu nawodnień kropłowych zależy od trzech podstawowych czynników, które stanowią:

— zespół cech środowiskowych, do których można przykładowo zaliczyć właściwości fizyko-wodne gleby i przebieg warunków ewaporacyjnych;

— elementy stałe narzucone przez projektanta, do których można m.in. zaliczyć układ emiterów, czyli elementów dostarczających wodę bezpośrednio do rośliny, i ich lokalizację względem powierzchni terenu;

— technologię nawodnienia, tj. m.in. wydatek emiterów i czas polewu.

Ustalenie wpływu poszczególnych czynników na dynamikę uwilgotnienia gleby stanowi podstawę właściwego projektowania i eksploatacji systemu nawadniającego. W przedstawionych badaniach podjęto zagadnienie kształtowania się potencjałów wilgotnościowych w glebie przy przepływach stacjonarnych pod wpływem nawodnienia kropłowego przy różnych wydatkach emitera liniowego i punktowego.

PODSTAWY TEORETYCZNE

Badania teoretyczne nad dynamiką uwilgotnienia gleby w nawodnieniach kropłowych były prowadzone przez wielu autorów. Philip [7] i Raats [8, 9] rozpatrują przypadki dystrybucji kropłowej ze źródeł usytuowanych na lub pod powierzchnią homogennego, nie nasyconego ośrodka glebowego, przyjmując stacjonarny charakter przepływu. Przypadki takie mogą odpowiadać sytuacji, gdy częstotliwość nawodnień jest duża lub nawodnienie ma charakter ciągły i pobranie wody przez rośliny uzupełniane jest na bieżąco.

Raats [8], rozpatrując przypadek stacjonarnej infiltracji ze źródła punktowego, posługuje się równaniem bilansu masy:

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

gdzie: r , z — radialna i pionowa współrzędna układu,

u , v — radialna i pionowa składowa prędkości,

θ — wilgotność gleby odniesiona do jednostki objętości.

Składowe θu i θv zgodnie z prawem Darcy'ego można zapisać jako:

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

gdzie:

K — przewodność hydrauliczna gleby,

φ — potencjał przepływu macierzystego zdefiniowany jako (Kirchoff ok. 1800, Gardner [2]):

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

gdzie: h — ciśnienie ssące gleby.

Uwzględniając równanie (2) w równaniu (4) uzyskuje się:

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

Dla uproszczenia równania przepływu wprowadza się związek zaproponowany przez Gardnera [2]:

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

gdzie:

K_f — przewodność hydrauliczna gleby nasyconej,

α — wielkość stała charakterystyczna dla danej gleby.

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

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

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

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

Dla linii nawadniającej z emiterami rozmieszczonymi blisko siebie nakładanie się stref zwilżanych następuje w krótkim czasie, a więc całkowicie nawodniona powierzchnia ma formę nieskończenie długiego pasa. Orientując wzdłuż niego oś y , przepływ staje się od tej współrzędnej niezależny i zadanie jest rozpatrywane jako płaskie (x, z). W związku z powyższym równanie przepływu dla przypadku emitera liniowego może być zapisane w postaci (Raats [8]):

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

Ponieważ przepływ wody w glebie jest procesem złożonym, to jego odwzorowania matematyczne stanowić będą zawsze pewne przybliżenie. Tak więc również w przypadku modelowania nawodnień kropłowych występować będą założenia upraszczające, które można sklasyfikować w trzy grupy:

— uproszczenia wynikające z założeń Richardsa,

- uproszczenia w parametryzacji układu gleba-roślina-atmosfera,
- uproszczenia wynikające z założeń odnośnie do warunków początkowych i brzegowych oraz sposobu rozwiązania równania różniczkowego Richardsa (np. jego linearyzacji).

W rozwiązaniach równań (7) i (8) wielu autorów stosuje metody analityczne, zaproponowane przez Carslaw'a i Jaegera [1] do opisu przepływu ciepła w ciałach stałych. Wynikowe rozwiązania dla rozpatrywanych przypadków infiltracji stacjonarnej z emitera punkowego i liniowego podano w tabeli 1 (Philip [6]; Woodling [12]; Raats [9]; Warrick [10]; Warrick, Lomen [11]; Lomen [5]). Zastosowane w rozwiązaniach bezwymiarowe zmienne (Philip [6]) dla przypadku trójwymiarowego stanowią:

$$R = \frac{\alpha r}{2}; \quad Z = \frac{\alpha z}{2}; \quad \Phi = \frac{8\pi\phi}{\alpha q} \quad (9)$$

oraz analogicznie dla zadania płaskiego:

$$X = \frac{\alpha x}{2}; \quad Z = \frac{\alpha z}{2}; \quad \Phi = \frac{2\pi\phi}{q} \quad (10)$$

gdzie q jest odpowiednio wydatkiem emitera punkowego i liniowego.

METODYKA BADAŃ

Badania nad wpływem wydatku emitera na kształtowanie się potencjałów przy nawodnieniu kropłowym miały charakter eksperymentów symulacyjnych i fizycznych. Badania symulacyjne prowadzono z zastosowaniem programów MNK-2 (zadania dwuwymiarowe) i MNK-3 (zadania trójwymiarowe), które opracowano w Katedrze Melioracji Rolnych i Leśnych SGGW z wykorzystaniem bloków programowych Warricka i Lomena*. Programy te, współpracując z komputerem IBM PC AT, pozwalają na obliczanie rozkładu ciśnień ssących w glebie dla różnych przypadków nawodnień kropłowych. W przedstawionych badaniach wykorzystano fragmenty programów MNK-2 i MNK-3 obejmujące zadania stacjonarne przy dystrybucji wody z emitera liniowego i punkowego zlokalizowanych na powierzchni terenu.

Eksperymenty fizyczne prowadzono w szczelnych komorach o powierzchni od 4 do 15 m² wypełnionych glebą z zachowaniem jednorodności ośrodka. Badane ośrodki różniły się charakterystykami przewodności, a pod względem uziarnienia odpowiadały piaskom gliniastym lekkim pylastym oraz glinie lekkiej.

Linia nawadniająca stanowiła przewód z emiterami rozmieszczonymi w małych odległościach (10 cm), co powodowało, że fronty zwilżania wzdłuż rurociągu (oś y) nakładały się po bardzo krótkim czasie. Interakcyjny charakter

* Opis bloków programowych zawarty jest w sprawozdaniu z badań wykonanych w ramach Western Regional Project W-128, Warrick A. W., Lomen D. O., Tonellato P. J., The University of Arizona.

pracy emiterów pozwalał na przyjęcie schematu przepływu jako zadania płaskiego w układzie osi (x, z), gdzie x stanowi współrzędną poziomą prostopadłą do osi linii nawadniającej, a z — współrzędną pionową skierowaną ku dołowi. Jednakowy wydatek emiterów w trakcie eksperymentu zapewniono stosując zasilanie grawitacyjne ze zbiornika z przelewem. Ogólną ilość podawanej wody kontrolowano dodatkowo za pomocą wodomierza, a jako zabezpieczenie przed zatykaniem się emiterów zastosowano filtr siatkowy. Wpływ wydatków emiterów na rozkład potencjałów wilgotnościowych w glebie badano przy dopływach z linii nawadniającej od 113 do 350 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{doba}^{-1}$ oraz od 24 do 72 $\text{dm}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$ ze źródła punktowego. Pomiar potencjału prowadzono za pomocą tensjometrów z elementami ceramicznymi o krótkim czasie reakcji (Hewelke, Oleksiewicz 1991), rozmieszczonymi w punktach o różnych współrzędnych względem emitera. Eksperymenty fizyczne pozwoliły na ocenę rzeczywistego przebiegu infiltracji przy różnych dopływach, a ich porównanie z wynikami badań symulacyjnych na weryfikację założeń i rozwiązań przyjętych w modelu. Jako ilościową miarę zgodności pomiędzy pomierzonymi i obliczonymi wartościami ciśnień ssących zastosowano błąd standardowy oceny i odchylenie przeciętne.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań omówiono na przykładzie infiltracji stacjonarnej w piasku gliniastym lekkim pylastym, którego przewodność opisują parametry $K_f = 7 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$ i $\alpha = 0,022 \text{ cm}^{-1}$.

Obliczone rozkłady ciśnień ssących gleby przedstawiono na rysunkach 1 i 2 przy realizowanych w eksperymentach fizycznych wydatkach 113 i 240 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{doba}^{-1}$ dla emitera liniowego oraz 24 i 48 $\text{dm}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$ dla emitera punktowego. Dla emitera liniowego przedstawiono również wyniki obliczeń przy wydatkach pośrednich 180 i 210 oraz wydatku 350 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{doba}^{-1}$. Porównanie wartości uzyskanych na drodze symulacji z pomierzonymi przy nawodnieniach przedstawiono na wykresach rozkładu ciśnień ssących w kierunku poziomym i pionowym w wybranych przekrojach z, x lub r (rys. 3–6). Błąd standardowy oceny i odchylenie przeciętne wyniosły odpowiednio 4,3 i 3,6 cm dla przypadku emitera liniowego oraz 6,9 i 6,5 dla emitera punktowego. Jednocześnie obliczono błąd standardowy pomiaru tensjometrycznego, który dla badanego piasku gliniastego w zakresie pomiarowym od 0 do 250 cm wyniósł 10,2 cm. Uzyskane wartości odchyżeń oraz porównanie błędu standardowego oceny z błędem standardowym pomiaru ciśnienia ssącego potwierdzają dobrą zgodność pomiędzy modelem a wartościami pomierzonymi. Podobne rezultaty otrzymano dla pozostałych badanych ośrodków.

Przedstawione na rysunkach 1 i 2 rozkłady sił ssących wskazują, że zwiększenie wydatku emitera powoduje przyrost objętości gleby o wysokim uwilgotnieniu. Zatem zmieniając wydatek można regulować tak rozkład uwilgotnienia, jak i kształt nawodnionej bryły gleby. Biorąc pod uwagę, że celowe jest doprowadzenie

a/ Wydatek $113 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-1} \text{doba}^{-1}$

d/ Wydatek $240 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-1} \text{doba}^{-1}$

	x (cm)					
	10.	20.	30.	40.	50.	60.
.0 I	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+
.0 I	I	8:888	66666	44444		
I	I	8:888	66666	444444		
I	I		66666	4444		
I	I		6666666	44		
I	I		666666666	4		
z (cm) I	666666666666666666					
I	6666666666666666					
I	666666666666666					
I	666666666					
I	6666					
I					4	
I					4	
100. I						

	x (cm)					
	10.	20.	30.	40.	50.	60.
.0 I	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+
.0 I	I	88888			66666	
I	I	88888		88888	66666	
I	I	88888		88888	666	
I	I	888888888		88888888	66	
I	I	8888888888888		8888888888888		
I	I	8888888888888		8888888888888		
I	I	8888888888888		8888888888888		
I	I	8888888888888		8888888888888		
I	I	8888888888888		8888888888888		
I	I	8888888888888		8888888888888		
I	I	8888888888888		8888888888888		
I	I	8888888888888		8888888888888		
I	I	8888888888888		8888888888888		
100. I						

b/ Wydatek $180 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-1} \text{doba}^{-1}$

e/ Wydatek $350 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-1} \text{doba}^{-1}$

	x (cm)					
	10.	20.	30.	40.	50.	60.
.0 I	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+
.0 I	I	88888	6666			
I	I	88888	66666			
I	I	888888888	666666			
I	I	88888888888	6666666			
I	I	888888888	66666666			
z (cm) I	88888		66666666			
I			666666666			
I			6666666666			
I			66666666666			
I			6666666666666			
I			666666666666666			
I			6666666666666666			
100. I						

	x (cm)					
	10.	20.	30.	40.	50.	60.
.0 I	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+
.0 I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
I	I	8888888888888888888				
100. I						

c/ Wydatek $210 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-1} \text{doba}^{-1}$

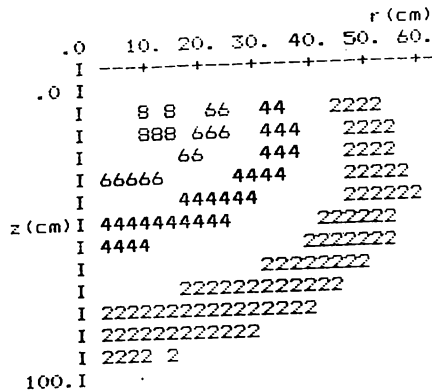
	x (cm)					
	10.	20.	30.	40.	50.	60.
.0 I	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+	-----+
.0 I	I	88888	66666			
I	I	8888888888888888888	66666			
I	I	8888888888888888888	666666			
I	I	8888888888888888888	6666			
I	I	8888888888888888888	66666			
I	I	8888888888888888888	6666			
I	I	8888888888888888888	6666			
I	I	8888888888888888888	66666			
I	I	8888888888888888888	66666			
I	I	8888888888888888888	66666			
I	I	8888888888888888888	66666			
I	I	8888888888888888888	666666			
I	I	8888888888888888888	666666			
I	I	8888888888888888888	666666			
I	I	8888888888888888888	666666			
I	I	8888888888888888888	666666			
I	I	8888888888888888888	666666			
I	I	8888888888888888888	666666			
I	I	8888888888888888888	666666			
100. I						

Legenda		
Ciśnienie ssące (cm)	ssace	Uznaczenie
-200.	-183.	0.
-183.	-167.	-2
-167.	-150.	
-150.	-133.	4
-133.	-117.	
-117.	-100.	6
-100.	-83.	
-83.	-67.	8
-67.	-50.	10

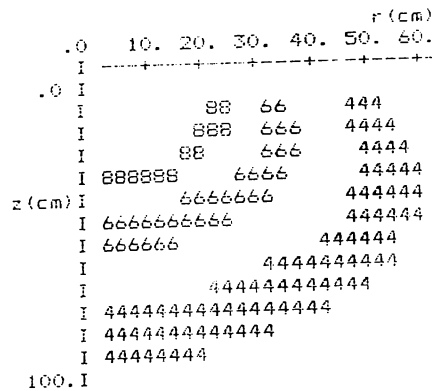
Rys. 1. Obliczone rozkłady ciśnień ssących gleby dla infiltracji stacjonarnej przy różnych wydatkach emitera liniowego w piasku lekkim gliniastym pylastym

Fig. 1. Calculated distributions of soil pressure head for steady infiltration at different outputs of the line source in light silty loamy sand

a/ Wydatek 24 dm³doła⁻¹



b/ Wydatek 48 dm³doła⁻¹



Legenda

Disnienie ssące (cm)	Oznaczenie
>	-133.
-133. -	-117.
-117. -	-100.
-100. -	-83.
-83. -	-67.
-67. -	-50.
-50. -	-33.
-33. -	-17.
-17. -	0.

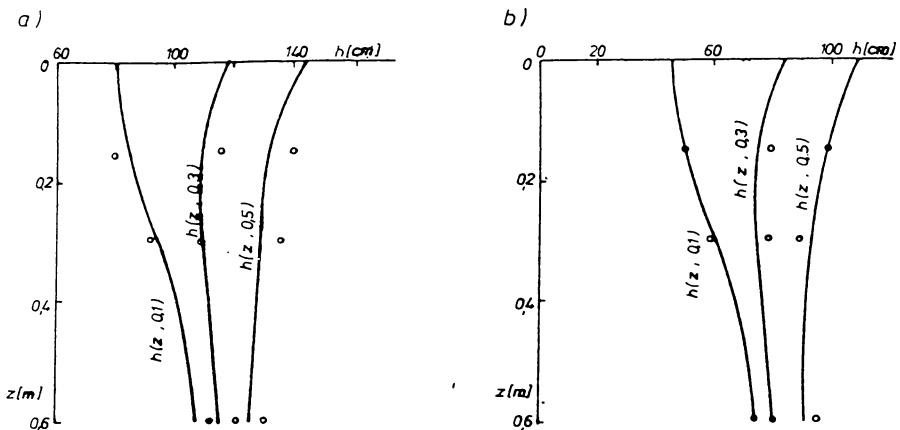
Rys. 2. Obliczone rozkłady ciśnień ssących gleby dla infiltracji stacjonarnej przy różnych wydatkach emitera punkowego w piasku lekkim gliniastym pylastym

Fig. 2. Calculated distributions of soil pressure head for steady infiltration at different outputs of the point source in light silty loamy sand

Tabela 1

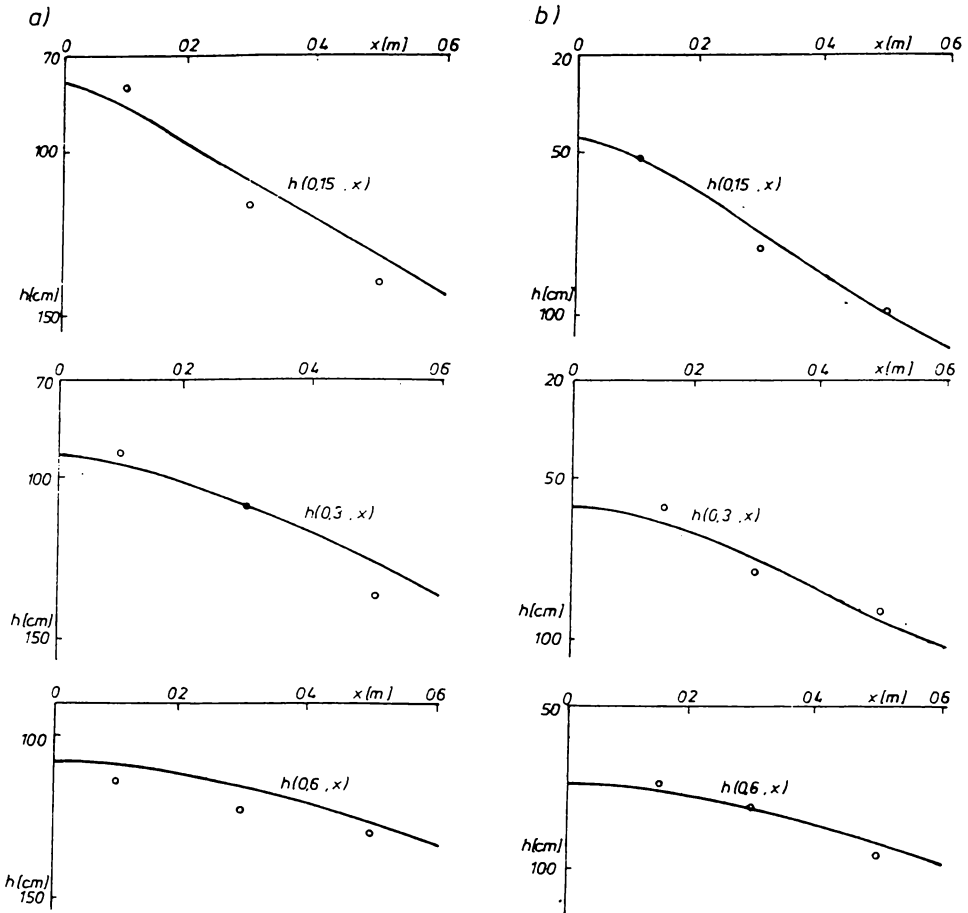
Potencjały przepływu macierzystego dla przypadków infiltracji stacjonarnej przy dystrybucji punktowej i liniowej

Sposób podawania wody	Obszar i warunki infiltracji	Potencjał przepływu macierzystego
Emiter punktowy pod powierzchnią terenu (R, Z) = (0,0)	$0 \leq R \leq \infty$ $-\infty \leq Z \leq \infty$ $\lim \Phi = 0$ przy $\rho = (R^2 + Z^2)^{1/2} \rightarrow \infty$	$\Phi_b = \frac{\exp(Z-\rho)}{\rho}$
Emiter punktowy na powierzchni terenu (R, Z) = (0,0)	$R \geq 0$ $0 \leq Z \leq \infty$ $\Phi - \frac{1}{2} \frac{\partial \Phi}{\partial Z} = 0$ $Z = 0, X \neq 0$	$\Phi_s = 2 \{ \Phi_b + e^{2Z} E_1[-(Z+\rho)] \}$ gdzie E_1 — całkowita funkcja wykładnicza
Emiter liniowy pod powierzchnią terenu (X, Z) = (0,0)	$-\infty \leq X \leq \infty$ $-\infty \leq Z \leq \infty$ $\lim \Phi = 0$ przy $S = (X^2 + Z^2)^{1/2} \rightarrow \infty$	$\Phi_b = e^{Z\kappa_0}(S)$ gdzie κ_0 — zmodyfikowana funkcja Bessela drugiego rodzaju rzędu pierwszego
Emiter liniowy na powierzchni terenu (X, Z) = (0,0)	$-\infty \leq X \leq \infty$ $0 \leq Z \leq \infty$ $\Phi - \frac{1}{2} \frac{\partial \Phi}{\partial Z} = 0$	$\Phi_s = 2 \left[\Phi_b - e^{2Z} \int_Z^\infty e^{-2Z} \Phi_b dZ \right]$



Rys. 3. Rozkłady obliczonych i pomierzonych ciśnień ssących gleby w kierunku poziomym dla emitera liniowego: a — wydatek $113 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{doba}^{-1}$, b — wydatek $240 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{doba}^{-1}$

Fig. 3. Distribution of calculated and measured soil pressure head in horizontal direction for the line source: a — output $113 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, b — output $240 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$

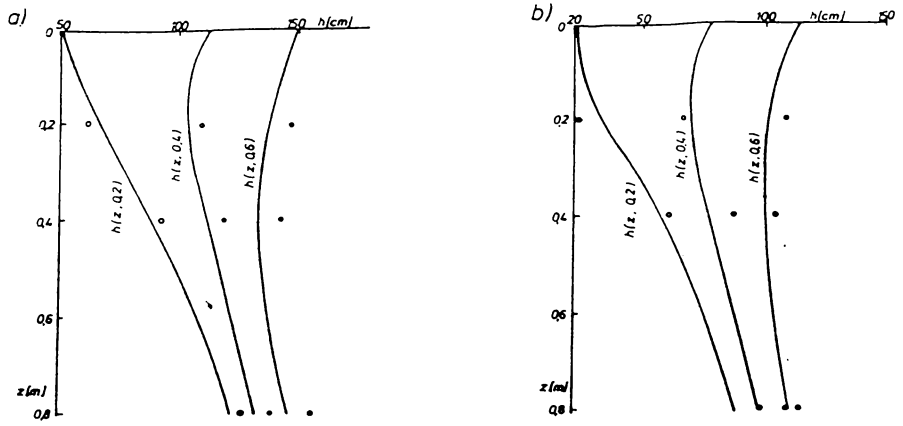


Rys. 4. Rozkłady obliczonych i pomierzonych ciśnień ssących gleby w kierunku pionowym dla emitera liniowego: a — wydatek $113 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{doba}^{-1}$, b — wydatek $240 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{doba}^{-1}$

Fig. 4. Distribution of calculated and measured soil pressure head in vertical direction for the line source: a — output $113 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, b — output $240 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$

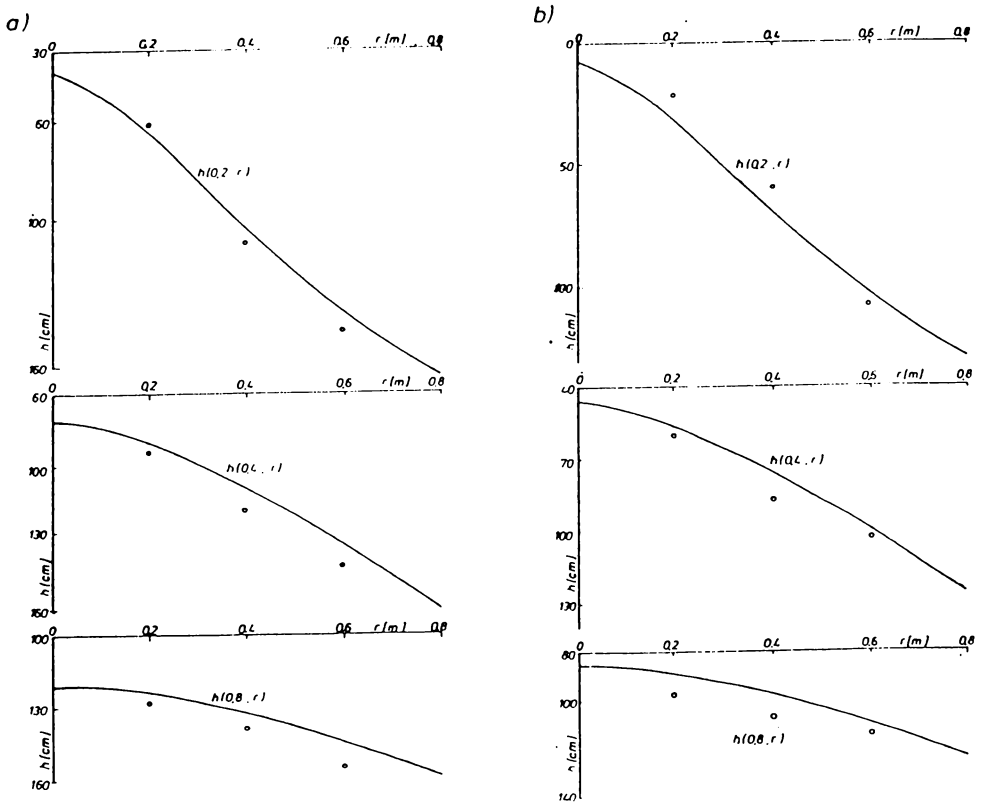
wody tylko do strefy korzeniowej roślin (lub jej części), tj. nawodnienie warstwy gleby o określonej miąższości i szerokości pasa lub powierzchni określonej średnicy, wydatek emitera może mieć wpływ na skuteczność nawodnienia i współczynnik wykorzystania wody. Uzyskana duża zgodność modelu z wynikami pomiaru pozwala na jego odpowiedni dobór przy zastosowaniu metody symulacyjnej. Z uwagi na krótki czas obliczeń, wynoszący dla jednego dopływu ok. 5 min przy zastosowaniu komputera IBM PC AT, sposób ten jest szczególnie wygodny pod warunkiem znajomości parametrów K_f i α .

Analiza rozkładów bezwymiarowego potencjału przepływu macierzystego Φ (rys. 7–10) wskazuje, że maleje on silnie wraz ze wzrostem odległości



Rys. 5. Rozkłady obliczonych i pomierzonych ciśnień ssących gleby w kierunku poziomym dla emitera punktowego: a — wydatek $24 \text{ dm}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$, b — wydatek $48 \text{ dm}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$

Fig. 5. Distribution of calculated and measured soil pressure head in horizontal direction for the point source: a — output $24 \text{ dm}^3 \cdot \text{day}^{-1}$, b — output $48 \text{ dm}^3 \cdot \text{day}^{-1}$

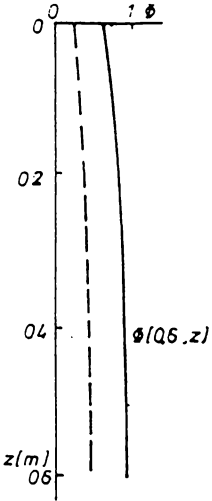
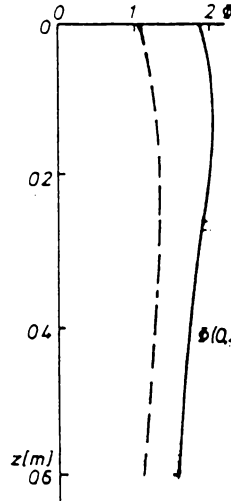
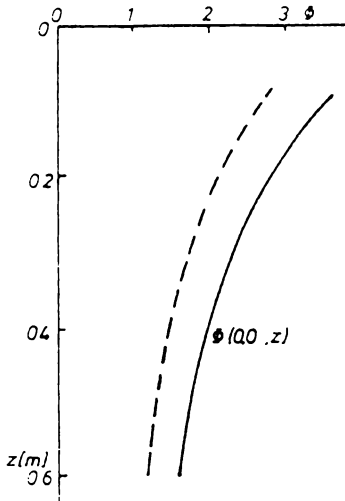
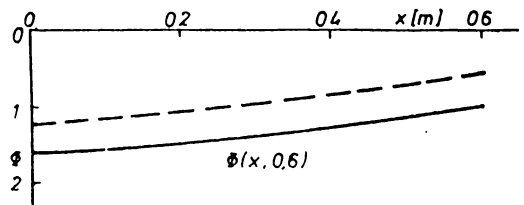
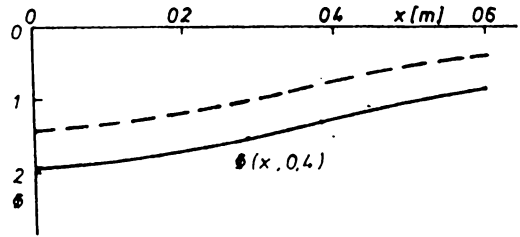
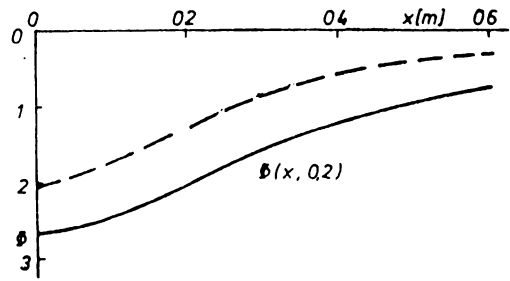


Rys. 6. Rozkłady obliczonych i pomierzonych ciśnień ssących gleby w kierunku pionowym dla emitera punktowego: a — wydatek $24 \text{ dm}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$, b — wydatek $48 \text{ dm}^3 \cdot \text{doba}^{-1}$

Fig. 6. Distribution of calculated and measured soil pressure head in vertical direction for the point source: a — output $24 \text{ dm}^3 \cdot \text{day}^{-1}$, b — output $48 \text{ dm}^3 \cdot \text{day}^{-1}$

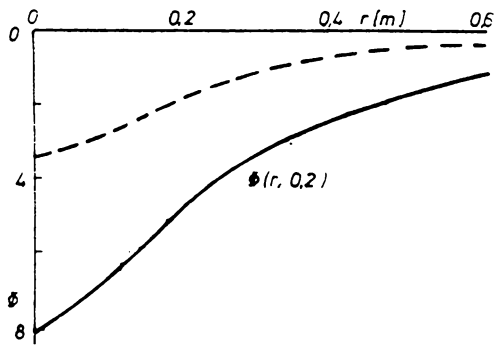
Rys. 7. Rozkłady bezwymiarowego potencjału przepływu macierzystego w kierunku pionowym przy infiltracji z emitera punkowego: linia ciągła — piasek lekki gliniasty pylasty, $K_f = 7,0 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$ $\alpha = 0,022 \text{ cm}^{-1}$; linia przerywana — piasek słabo gliniasty, $K_f = 32,8 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$, $\alpha = 0,042 \text{ cm}^{-1}$

Fig. 7. Distribution of dimensionless matrix flux potential in vertical direction at infiltration from the point source: solid line — silty loamy sand, $K_f = 7.0 \text{ cm} \cdot \text{day}^{-1}$, $\alpha = 0.022 \text{ cm}^{-1}$; dashed line — slightly loamy sand, $K_f = 32.8 \text{ cm} \cdot \text{day}^{-1}$, $\alpha = 0.042 \text{ cm}^{-1}$



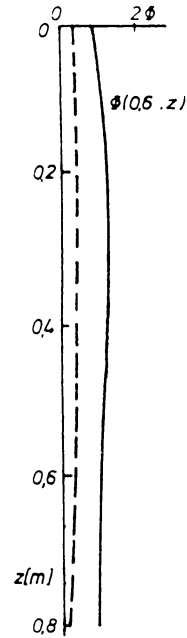
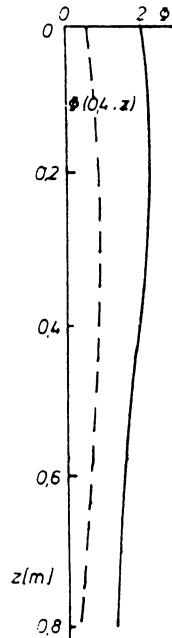
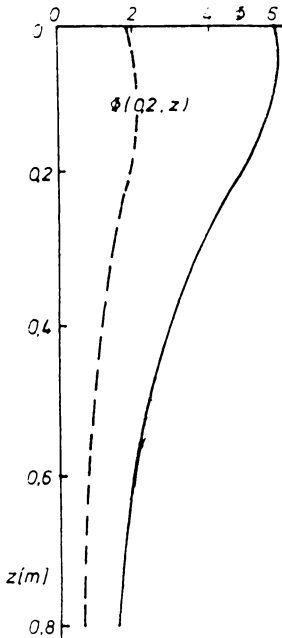
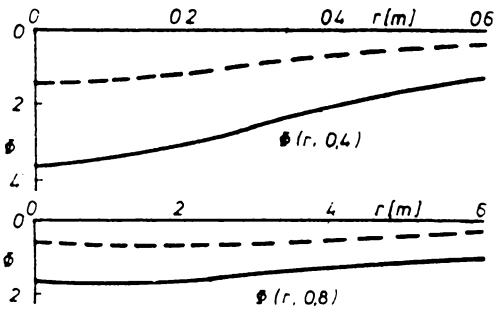
Rys. 8. Rozkłady bezwymiarowego potencjału przepływu macierzystego w kierunku poziomym przy infiltracji z emitera punkowego: linia ciągła — piasek lekki gliniasty pylasty, $K_f = 7,0 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$, $\alpha = 0,022 \text{ cm}^{-1}$; linia przerywana — piasek słabo gliniasty, $K_f = 32,8 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$, $\alpha = 0,042 \text{ cm}^{-1}$

Fig. 8. Distributions of dimensionless matrix flux potential in horizontal direction at infiltration from the point source: solid line — silty loamy sand, $K_f = 7.0 \text{ cm} \cdot \text{day}^{-1}$, $\alpha = 0.022 \text{ cm}^{-1}$; dashed line — slightly loamy sand, $K_f = 32.8 \text{ cm} \cdot \text{day}^{-1}$, $\alpha = 0.042 \text{ cm}^{-1}$



Rys. 9. Rozkłady bezwymiarowego potencjału przepływu macierzystego w kierunku pionowym przy infiltracji z emitera liniowego: linia ciągła — piasek lekki gliniasty pylasty, $K_f = 7,0 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$, $\alpha = 0,022 \text{ cm}^{-1}$; linia przerywana — piasek słabo gliniasty, $K_f = 32,8 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$, $\alpha = 0,042 \text{ cm}^{-1}$

Fig. 9. Distribution of dimensionless matric flux potential in vertical direction at infiltration from the line source: solid line — silty loamy sand, $K_f = 7.0 \text{ cm} \cdot \text{day}^{-1}$, $\alpha = 0.022 \text{ cm}^{-1}$; dashed line — slightly loamy sand, $K_f = 32.8 \text{ cm} \cdot \text{day}^{-1}$, $\alpha = 0.042 \text{ cm}^{-1}$



Rys. 10. Rozkłady bezwymiarowego potencjału macierzystego w kierunku poziomym przy infiltracji z emitera liniowego: linia ciągła — piasek lekki gliniasty pylasty, $K_f = 7,0 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$, $\alpha = 0,022 \text{ cm}^{-1}$; linia przerywana — piasek słabo gliniasty, $K_f = 32,8 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$, $\alpha = 0,042 \text{ cm}^{-1}$

Fig. 10. Distribution of dimensionless matric flux potential in vertical direction at infiltration from the line source: solid line — silty loamy sand, $K_f = 7.0 \text{ cm} \cdot \text{day}^{-1}$, $\alpha = 0.022 \text{ cm}^{-1}$; dashed line — slightly loamy sand, $K_f = 32.8 \text{ cm} \cdot \text{day}^{-1}$, $\alpha = 0.042 \text{ cm}^{-1}$

od emitera. Przedstawione porównanie bezwymiarowego potencjału przepływu macierzystego dla piasku gliniastego lekkiego pylastego z wartościami obliczonymi dla piasku słabo gliniastego o współczynniku filtracji $K_f = 32,8 \text{ cm} \cdot \text{doba}^{-1}$ oraz $\alpha = 0,042 \text{ cm}^{-1}$ potwierdza, że decydujący wpływ na przebieg nawodnienia ma przewodność hydrauliczna ośrodka.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone eksperymenty fizyczne i symulacyjne wskazują, że wydatek emitera istotnie kształtuje rozkład potencjałów wilgotnościowych przy nawodnieniu kropłowym. Zwiększenie wydatku powoduje przyrost objętości gleby o wysokim uwilgotnieniu w zależności od przewodności ośrodka. Układ i wydatek emiterów powinien być więc dostosowany do rodzaju gleby i nawadnianej rośliny tak, aby obszar zwilżony uwzględniał rozkład systemu korzeniowego i nie następował nadmierny przepływ poza jego zasięg.

2. Uzyskana znaczna zgodność eksperymentów fizycznych z wynikami symulacji procesu nawodnienia dla stanów ustalonych potwierdza prawidłowość przyjętych rozwiązań analitycznych i programowych. Krótki czas realizacji programu (ok. 5 min dla każdego dopływu) stanowi istotną zaletę badań symulacyjnych i pozwala na szybkie określenie w danej glebie rozkładu ciśnień ssących przy zadanym wydatku.

LITERATURA

- [1] Carslaw H. S., Jaeger J. C., 1959: Conduction of heat in solids. 2nd ed.arendon Press, Oxford.
- [2] 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.
- [3] Hewelke P., 1981: Investigations on formation of moisture potentials in soil at field water capacity. Roczn. Glebozn. 32, Nr 3.
- [4] Hewelke P., Oleksiewicz A., 1991: Badania właściwości i technologia wykonania elementów ceramicznych stosowanych w pomiarach potencjału wody glebowej. Roczn. Glebozn. (w druku).
- [5] Lomen D. O., Warrick A. W., 1974: Time-dependent linearized infiltration: II. Line Sources. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38.
- [6] Philip J. R., 1968: Steady infiltration from buried point sources and spherical cavities. Water Resour. Res. 4.
- [7] 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.
- [8] Raats P. A. C., 1970: Steady infiltration from line sources and furrows. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35.
- [9] Raats P. A. C., 1971: Steady infiltration from point sources, cavities and basins. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35.
- [10] Warrick A. W., 1974: Time-dependent linearized infiltration. I. Point sources. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38.
- [11] Warrick A. W., Lomen D. O., 1976: Time-dependent linearized infiltration. III. Strip and disc sources. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 40.

- [12] Wooding R. A., 1968: Steady infiltration from a circular pond. *Water Resour. Res.* 4.
[13] Żakowicz S., 1986: Wpływ poziomu wilgotności gleby i warunków ewaporacyjnych na przebieg procesu transpiracji roślin. *Frag. Agron.* Nr 2.

P. HEWELKE

PRINCIPLES OF SOIL MOISTURE REGULATION BY MEANS OF DRIP IRRIGATION

Department of Land and Forest Reclamations, Warsaw Agricultural University

S u m m a r y

Specificity of drip irrigations in the aspect of soil moisture regulation is presented in the paper. This irrigation system is most appropriate from the viewpoint of water requirements of plants and current interference in the basic processes of the soil-plant-atmosphere system. Application of microirrigations reduces considerably the role of soil retention in the water management on an irrigated object and makes possible an informational linkage between the environment and the irrigation system. The present investigations enabled to perform a numerical simulation of the irrigation process at application of linear and point source for particular outputs as well as to verify the results obtained on the basis of physical investigations. Physical experiments were carried out in tight chambers of the area of 4–15 m² filled up with an uniform soil substrate. The investigation results allow to determine the effect of emitter output on the distribution of pressure head in soil and confirm the correctness of the model applied for stationary flow conditions.

Dr P. Hewelke

Katedra Melioracji Rolnych i Leśnych

SGGW w Warszawie

02-766 Warszawa, Nowoursynowska 166

Praca wpłynęła do redakcji w marcu 1992 r.