

dr inż. Piotr HEWELKE
dr inż. Stanisław ŻAKOWICZ

KATEDRA MELIORACJI ROLNYCH
I LEŚNYCH SGGW-AR

WYBRANE ZAGADNIENIA Z PROBLEMATYKI MIKRONAWODNIEŃ

Mikronawodnienia stanowiąc systemy energo i zasobooszczędne oraz stosunkowo łatwe do automatyzacji mają duże perspektywy rozwoju. W mikronawodnieniach niektóre zagadnienia wspólne z innymi typami nawodnień nabierają szczególnej rangi oraz pojawiają się nowe, specyficzne dla tego sposobu podawania wody. Przegląd badań przedstawiony na konferencji w roku 1984 /m.in. 9,11/ wskazuje, że możemy wyróżnić tu cztery podstawowe grupy problemów: konstrukcyjne, technologiczne, projektowo-eksploatacyjne i ekonomiczne.

Problemy konstrukcyjne obejmują głównie rozwiązania zapewniające:

- doprowadzenie do sieci wody o odpowiedniej jakości,
- niezawodność dystrybucji wody,
- automatyzację pracy systemu.

Problemy technologiczne to przede wszystkim inżynieria materiałowa odgrywająca decydującą rolę w zachowaniu przez armaturę i sieć zaprojektowanych parametrów hydraulicznych oraz decydująca o jej trwałości i kosztach.

Problemy projektowo-eksploatacyjne obejmują w szczególności rozwiązania zapewniające dużą równomierność techniczną nawodnień oraz dostarczanie wody w zależności od aktualnego stanu układu gleba-roślina-atmosfera. Rozstrzygnięcia ekonomiczne wynikają z bilansu nakładów i efektów jednak coraz bardziej aktualnym przy zużytkowywaniu surowców, a takim jest również woda, staje się badanie inwestycji w aspekcie ekonomiki zasobów.

Powiązanie osiągnięć inżynierii materiałowej z badaniami konstrukcyjnymi doprowadziło w ostatnim czasie do dynamicznego rozwoju w zakresie nowych rozwiązań filtrów, zwiłzaczy i armatury. Większa niezawodność poszczególnych elementów systemu jak i postęp w zakresie wymiarowania sieci prowadzi do zmniejszenia nierównomierności nawodnienia. W Polsce kryterium równomierności przyjęto jako $\pm 5\%$ od wydatku średniego w sekcji co odpowiada lub przewyższa wskaźniki podawane przez autorów z krajów gdzie mikronawodnienia są szeroko stosowane /7/. Rozpatrując problem równomierności nawodnienia sprowadza się go zazwyczaj do zagadnienia technicznego polegającego na dostarczeniu do punktów lub na powierzchnie jednakowej ilości wody w tym samym czasie. O równomierności nawodnienia decyduje jednak również czynnik przyrodniczy wynikający głównie z lokalnej zmienności ośrodka glebowego. Zmienność właściwości fizyko-chemicznych gleby takich jak jej gęstość, struktura, wilgotność, zawartość części organicznych itp. może powodować różnice w przebiegu nawodnienia. W mikronawodnieniach, a zwłaszcza w nawodnieniach kropłowych, gdzie podawane są stosunkowo niewielkie ilości wody i tylko zazwyczaj część powierzchni uprawowej jest nawadniana

znaczenie tej zmienności może odgrywać większą rolę niż w innych typach nawodnień.

Aktualnie można uznać, że o ile uzyskanie odpowiedniej równomierności technicznej stanowi funkcję nakładów to określenie wpływu poszczególnych czynników wynikających z lokalnej zmienności naturalnej i uprawowej ośrodka glebowego wymaga dalszych badań.

Przebieg nawodnienia uzależniony jest również od wzajemnego usytuowania elementów nawadniających. Rozpatrując przypadek liniowego rozmieszczenia zwilżaczy z rozstawą dobraną w taki sposób aby otrzymać kontakt pomiędzy sąsiednimi frontami zwilżenia mamy do czynienia z zadaniem dwuwymiarowym niezależnie od tego czy linia nawadniająca umieszczona jest na powierzchni czy też pod powierzchnią gleby. Z podobną sytuacją spotykamy się rozpatrując pojedynczy zwilżacz z tym, że zadanie będzie miało charakter trójwymiarowy. Jak wynika z powyższego różnice pomiędzy nawodnieniami kropłowymi i tzw. wgłębnymi mogą być minimalne zarówno pod względem konstrukcyjnym jak i hydraulicznego schematu ich działania co powoduje, że rozwiązania matematyczne zmian uwilgotnienia dla obu przypadków są bardzo zbliżone.

Badania teoretyczne nad dynamiką uwilgotnienia gleby w tych nawodnieniach można podzielić na trzy etapy. Pierwszy etap stanowią rozwiązania dla infiltracji ustalonej z tzw. źródła punktowego i liniowego przedstawione przez Woodinga /13/, Philipa /8/ i Raatsa /10/. Przypadki stacjonarne mogą odpowiadać sytuacji, gdy częstotliwość nawodnień jest duża lub nawodnienie ma charakter ciągły i pobór wody przez rośliny jest uzupełniany na bieżąco.

Jako drugi etap należy uznać wyniki uzyskane przez Brandta i Breslera /2,3/, którzy jako punkt wyjścia przyjęli równanie Richardsa w formie dyfuzyjnej, Brandt i Bresler rozpatrują przypadek pojedynczego zwilżacza wprowadzając model przepływu cylindrycznego. Uzyskane przez nich wyniki na drodze numerycznej zostały częściowo zweryfikowane badaniami laboratoryjnymi /3/ Warrick /12/ analizuje dynamikę uwilgotnienia gleby dla różnych wariantów nawodnień kropłowych i wgłębnych stosując zlinearyzowaną formę równania przepływu wilgoci. Zgodnie z definicją Gardnera /12/ strumień potencjału matrycznego ϕ można zapisać jako:

$$\phi = \int_{-\infty}^h K/h/ dh = \frac{K}{\alpha} \quad /1/$$

gdzie: h - siła ssąca gleby, K - przewodnictwo hydrauliczne.

Funkcję przewodności $K/h/$ Gardner proponuje obliczać z równania:

$$K/h/ = K_0 \exp /-\alpha h/ \quad /2/$$

gdzie: α - współczynnik zależny od gleby, K_0 - przewodnictwo w strefie nasyconej.

Wprowadzając operator Laplace'a ∇^2 i uwzględniając powyższe zależności można zapisać nieliniową formę równania Richardsa jako:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla^2 \phi - \alpha \frac{\partial \phi}{\partial z} - s \quad /3/$$

gdzie: t - czas, θ - wilgotność gleby, z - współrzędna pionowa,

s - funkcja poboru wody przez korzenie.

Zakładając, że:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \rho} = \frac{\mathcal{L}}{k} = \text{const.} \quad /4/$$

uzyskujemy zależność liniową:

$$-\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{k}{\mathcal{L}} \nabla^2 \rho - k \frac{\partial \theta}{\partial z} - \frac{k}{\mathcal{L}} s \quad /5/$$

Dla ruchu ustalonego lewa część równania /3/ jest równa zero i równanie to sprowadza się do przypadku omawianego przez Philippe /8/ i Raatsa /10/.

Warrick podaje rozwiązania dla różnych przypadków ruchu ustalonego jak i warunków niestacjonarnych bez lub z uwzględnieniem zużycia wody przez rośliny.

Dla zastosowań praktycznych zostały opracowane nomogramy pozwalające na szybkie, przybliżone określenie rozstawu /zasięgu/ urządzeń nawadniających lub niezbędnego dopływu dla różnych przypadków nawodnień kropłowych ze źródłem na lub pod powierzchnią gleby i przy różnych schematach poboru wody przez rośliny /1/. Rozwiązanie przy ich pomocy dwóch typowych zadań przytoczono poniżej /1/.

Przykład 1.

Cięgi nawadniające o rozstawie 200 cm usytuowane są na powierzchni gleby o właściwościach przewodnictwa hydraulicznego $\mathcal{L} = 0,014 \text{ cm}^{-1}$, $K_0 = 9,9 \text{ cm.doba}^{-1}$. Głębokość korzenienia się uprawianych tu roślin wynosi $Z_0 = 100 \text{ cm}$ a dobowe zużycie wody $u = 0,75 \text{ cm.doba}^{-1}$. Postulowany potencjał matryczny na głębokości $Z_M = 35 \text{ cm}$ wynosi $h_M = -350 \text{ cm}$. Należy określić niezbędny wydatek q linii nawadniającej.

Na nomogramie przedstawionym na rys. 2a należy znaleźć punkt $\mathcal{L} Z_0 = 1,4$ /punkt I/, a następnie poprowadzić linię pionową do przecięcia się z krzywą $\mathcal{L} Z_M = 0,5$ /punkt II/. Z punktu II należy poprowadzić linię pionową do przecięcia się z krzywą $\frac{K_0}{U} \exp / \mathcal{L} h_M / = 0,098$ /punkt III/, a następnie poprowadzić poziomą do przecięcia się ze skalą C /punkt IV/. Po odszukaniu punktu $\mathcal{L} L = 2,8$ /punkt VIII/ prowadzi się linię pionową do przecięcia z krzywą $\mathcal{L} Z_M = 0,5$ /punkt VII/, a następnie linię poziomą do przecięcia się ze skalą A /punkt VI/.

Po połączeniu punktów IV i VI możemy odczytać poszukiwaną wartość $\mathcal{L} q/U = 3,2$ /punkt V/ i obliczyć dopływ q .

Przykład 2

Określić wydatek q dla poprzedniego przykładu jeżeli ciąg nawadniający znajduje się na głębokości, $d = 35$ cm pod powierzchnią gleby.

Korzystając z poprzedniego nomogramu punkty I-IV wyznacza się identycznie. Następnie na nomogramie 2b należy odszukać punkt $\mathcal{L} L = 2,8$ /punkt VIII/ i poprowadzić pionową do przecięcia z krzywą $\mathcal{L} Z_M = 0,5$ /punkt VII/. Prowadząc poziomą z punktu VII wyznacza się punkt VI na skali A. Przenosząc go na nomogram 2a po połączeniu z punktem IV uzyskuje się poszukiwaną wartość $\mathcal{L} q/U = 3,6$.

Rozwiązania Warricka oraz jego interpretacje praktyczne, podobnie jak inne rozwiązania teoretyczne wymagają m.in. znajomości przebiegu funkcji przewodności dla konkretnych warunków glebowych.

Ponieważ określenie funkcji K/h jest kłopotliwe oraz z uwagi, że modele numeryczne wymagają weryfikacji, kierunkiem równoległym dla ustalenia parametrów nawodnień są badania empiryczne. Koncentrują się one głównie na badaniach przebiegu nawodnienia w różnych glebach, przy różnych warunkach początkowych i technologiach dostarczania wody /m.in. 4, 5, 14, 15/.

W przeprowadzonych i przedstawionych poniżej badaniach podjęto taką próbę w odniesieniu do wpływu zmian gęstości gleby i wilgotności początkowej na przebieg nawodnienia. Badania prowadzono w warunkach laboratoryjnych na piasku pylastym stosując stały wydatek zwilżacza $3 \text{ dcm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ oraz w warunkach naturalnych na glinie średniej przy wydatku zwilżacza $4 \text{ dcm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Zależność pomiędzy objętością dostarczonej wody a maksymalnym promieniem i głębokością zwilżania uzyskaną w warunkach laboratoryjnych dla piasku pylastego przy trzech różnych wilgotnościach początkowych przedstawiono na rys. 2a, b. Podobną zależność uzyskaną w warunkach naturalnych /uprawa kukurydzy/ dla gliny średniej przedstawiono na rys. 5a, b /6/. Eksperyment prowadzono przy trzech rozkładach uwilgotnienia gleby /rys. 4/. Z przeprowadzonych badań wynika, że zależność pomiędzy maksymalnym promieniem i głębokością zwilżania była dla wszystkich wilgotności w obu przebadanych glebach praktycznie jednakowa /rys. 3, 6/. Oznacza to, że aczkolwiek wilgotność gleby przed nawodnieniem w zasadniczy sposób rzutuje na wielkość dawki to nie wpływa istotnie na kształt bryły nawadnianej.

Badania przebiegu nawodnień przy trzech różnych gęstościach piasku pylastego prowadzono w warunkach laboratoryjnych.

Przeprowadzone eksperymenty wskazują, że stan gleby może istotnie wpływać na relację pomiędzy promieniem i głębokością zwilżania /rys. 7/. Należy się więc liczyć, że kształty i wymiary zaważnianych brył będą różne.

Podsumowanie

Mikronawodnienia stanowią systemy zasobooszczędne pozwalające na dokładne dozowanie wody zazwyczaj na obszary ograniczone do części powierzchni uprawnej, na której koncentruje się główna masa korzeniowa roślin. Prezentuje one różne typy i odmiany nawodnień dostosowanych do wymagań fizjologicznych roślin i technologii ich uprawy. O przebiegu procesu nawodnienia decydują stosowane tu różne schematy hydrauliczne dostarczenia wody, warunki początkowe, właściwości ośrodka glebowego i technologia nawodnienia.

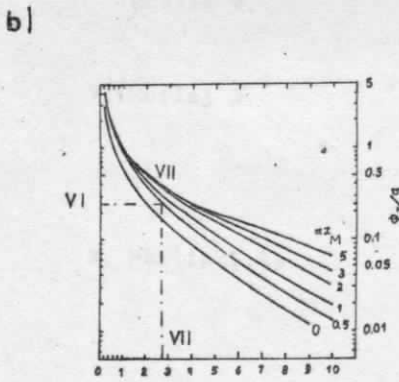
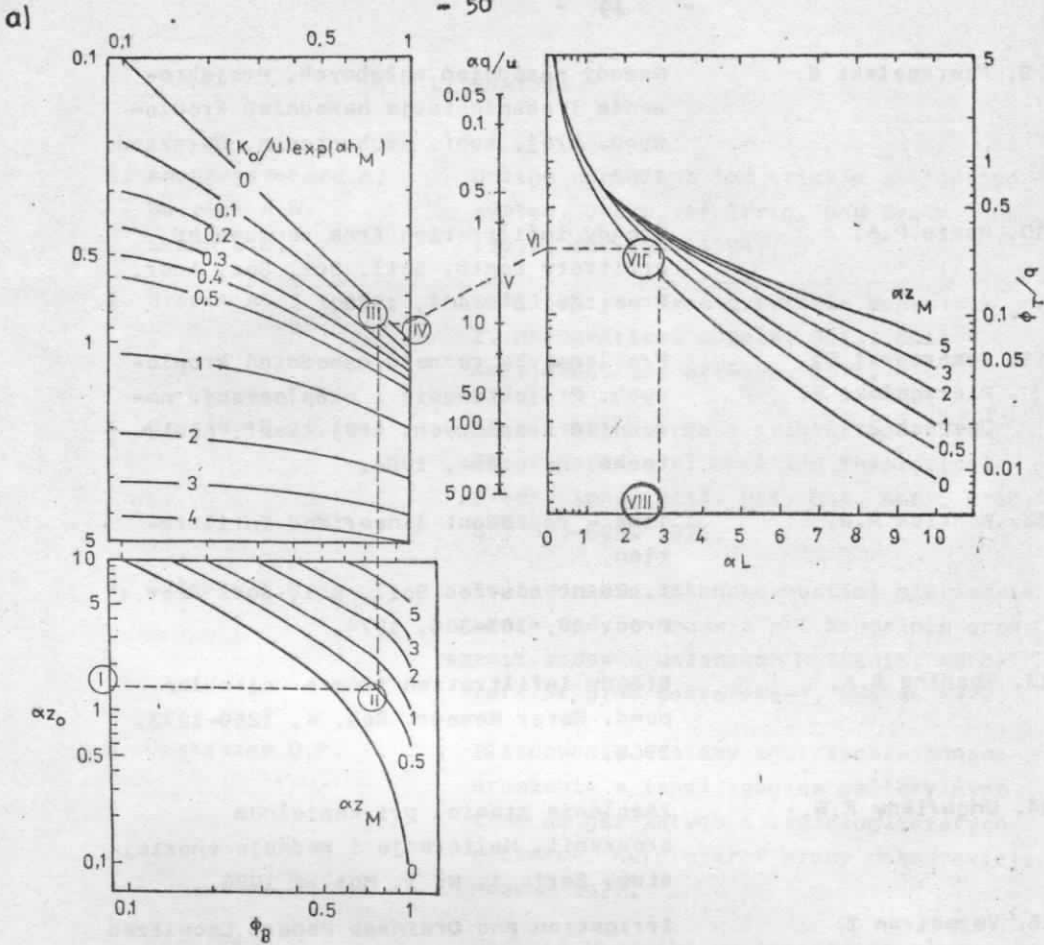
Poszukiwania teoretyczne doprowadziły do uzyskania rozwiązań w szczególności dla różnych odmian nawodnień kroplowych powierzchniowych i podpowierzchniowych. Za szczególnie cenne w tej mierze należy uznać rozwiązania Warricka uwzględniające zarówno przypadki ruchu ustalonego i nieustalonego, jak również różne schematy poboru wody przez rośliny /rozbiór cylindryczny, dyskowy itp./. Wprowadzenie przez Warricka funkcji Gardnera do opisu przewodności ośrodka glebowego jest wygodne ponieważ w znacznej mierze upraszcza rozwiązania zlinearyzowanego równania Richardsa. Z drugiej jednak strony można mieć uzasadnione wątpliwości czy funkcja Gardnera daje dobre dopasowanie dla wszystkich gleb. Zastosowanie w praktyce rozwiązań teoretycznych warunkuje znajomość

funkcji K/h , której bezpośrednio wyznaczenie jest trudne i pracochłonne. Badania empiryczne nad wpływem warunków początkowych, zmian właściwości ośrodka glebowego czy też przyjętej technologii nawodnienia na jego przebieg pozwalają weryfikować modele teoretyczne pod względem ich poprawności i zakresu stosowania. Z drugiej strony pozwolą one na ustalenie norm praktycznych umożliwiających na oszacowanie interesujących nas parametrów nawodnienia bez znajomości funkcji przewodności.

LITERATURA

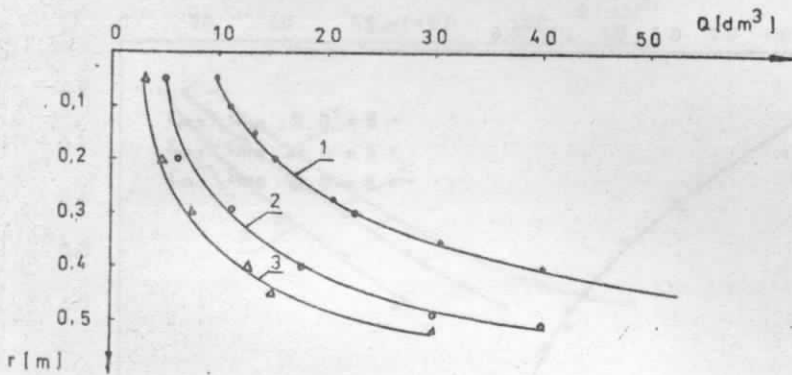
1. Amoozegar-Fard.A.
Wartick A.W.
Lomen D.O. Design nomograph for trickle irrigation system. Journ, of Irrig. and Drain. Eng. 110,2, 107-120, 1984.
2. Brandt A. i inni Infiltration from a trickle sours:
I. Mathematical models. Soil. Sci.
Amer.Proc. 35, 675-682, 1971.
3. Bresler E. i inni Infiltration from a trickle sours:
II. Experimental Data and theoretical
predictions, Soil. Sci, Soc. Amer. Proc.
35, 683-689, 1971.
4. Bałcatu I.N. Iśledowanie zakonomernostiej pieriedwi-
żenia wody w poczwie pri kapielnom oro-
szeniu sadow w usłowiach Mołdawii. Auto-
referat prac doktorskiej, Moskwa 1979.
5. Gostiszew D.P. Iśledowanie systemu wnutripoczwiennowo
oroszenia s ispolzowaniem polietylnych
trub na glinistych i tżażoėglinistych
poczwach. Autereferat pracy doktorskiej,
Moskwa 1977.
6. Hewelke P.
Kuklik V. Badania dynamiki uwilgotnienia gleby
przy nawodnieniach kropdowych. Sprawo-
zdanie z badań, VSZ Praha, 1987.
7. Mosiej J. Zagadnienia równomierności w nawodnie-
niach umiejscowionych. Projektowanie i
eksploatacja systemów nawodnień kroplo-
wych, kraj.konf. nauk.-techn. W-wa 1984.
8. Philip I.R. General theorem on steady infiltration
from surface sources, with application
to point and line sources. Soil Sci, Soc.
Amer.Proc. 35, 867-871, 1971.

9. Pierzgałski E. Rozwój nawodnień wgłębnych. Projektowanie i eksploatacja nawodnień kropłowych, kraj. konf. nauk.-techn. Warszawa, 1984.
10. Raats P.A. Steady infiltration from sources at arbitrary depth. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 36, 399-401, 1972.
11. Somorowski Cz.
Pierzgałski E.
Jeznach J. Problematyka rozwoju nawodnień kropłowych. Projektowanie i eksploatacja nawodnień kropłowych, kraj. konf. nauk.-techn. Warszawa, 1984.
12. Warrick A.W. Time - dependent linearized infiltration. I. Point sources Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 38, 383-386, 1974.
13. Wooding R.A. Steady infiltration from a circular pond. Water Resour. Res. 4, 1259-1273, 1968.
14. Unguriany F.W. Zosolenie ziemi przy kapielnym oroszeniu. Melioracja i wodnoje choziajstwo. Seria 1, Nr 1, Moskwa 1986.
15. Vermairen I
Iobling G.A. Irrigation and Drainage Paper. Localized irrigation 36, 1980.

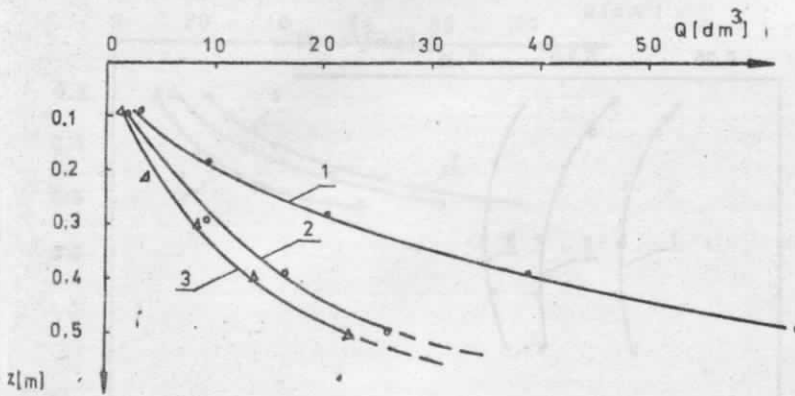


Rys.1 Nomogramy do obliczeń linii nawadniających a) powierzchniowych b) podpowierzchniowych z uwzględnieniem zużycia wody przez rośliny.

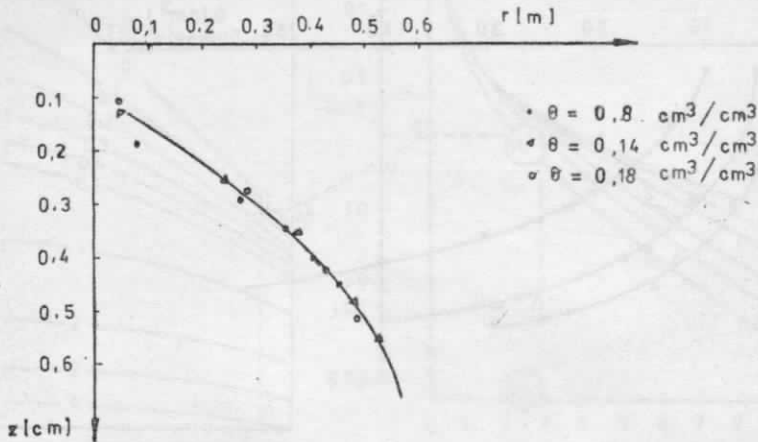
a)



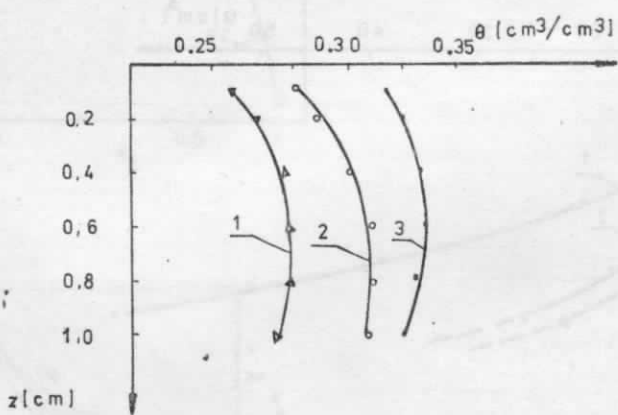
b)



Rys. 2 Zależność pomiędzy objętością dostarczonej wody i a) promieniem zwilżenia, b) głębokością zwilżenia w piasku pylastym, przy wilgotnościach początkowych 1 - $\theta=8$, 2 - $\theta=14$, 3 - $\theta=18$ [cm^3/cm^3].



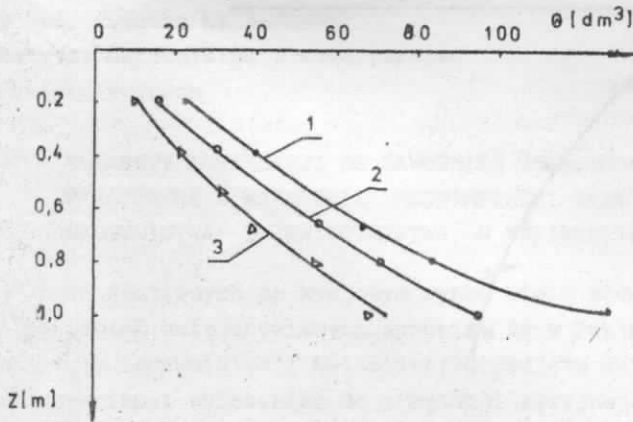
Rys. 3 Zależność pomiędzy promieniem i głębokością zwilżenia przy różnych wilgotnościach początkowych w piasku pylastym.



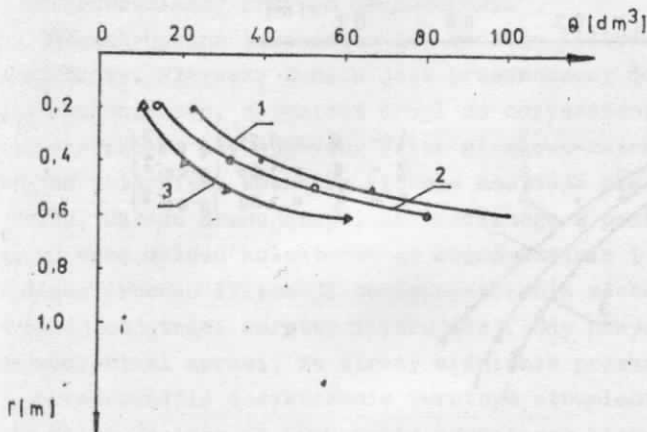
Rys. 4 Rozkłady uwilgotnienia przed nawodnieniem w profilu naturalnym gleby o składzie mechanicznym gliny średniej

a)

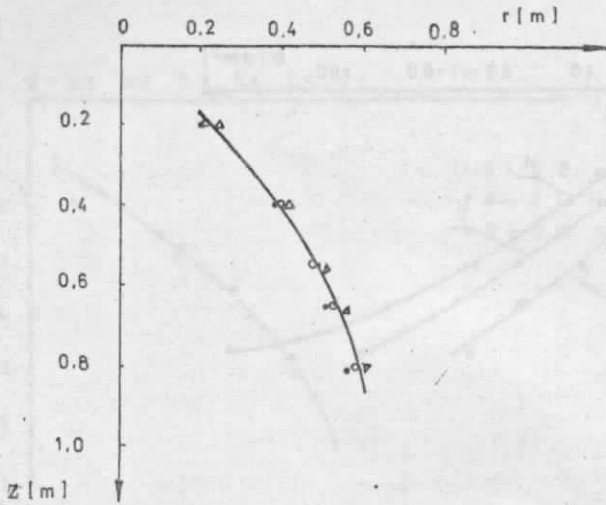
- 55 -



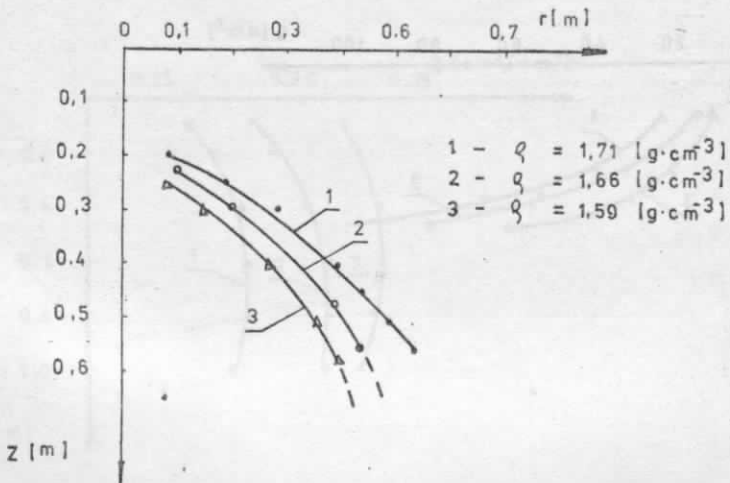
b)



Rys.5 Zależność pomiędzy objętością dostarczonej wody i a) promieniem zwilżenia, b) głębokością zwilżenia w profilu naturalnym gliny średniej przy wilgotnościach początkowych jak na rysunku 4.



Rys. 6 Zależność pomiędzy promieniem i głębokością zwilżenia przy różnych wilgotnościach początkowych w profilu naturalnym gliny średniej



Rys. 7 Zależność pomiędzy promieniem i głębokością zwilżenia przy różnych głębokościach gleby badana w piasku pylastym.