

dr inż. Edward Pierzgałski

Katedra Melioracji Rolnych i Leśnych

SGGW-AR

GOSPODARKA WODNA W GLEBIE PRZY NAWODNIENIACH KROPELOWYCH NA TLE FIZJOLOGICZNYCH POTRZEB ROŚLIN

1. Wprowadzenie

Ograniczenia wodne, energetyczne i materiałowe, przy rosnącym zapotrzebowaniu na produkty rolne, zmuszają do prowadzenia coraz bardziej efektywnej gospodarki. Dlatego też ciągle aktualne jest poszukiwanie odpowiedzi na pytanie: jakie powinny być warunki środowiska, aby roślina w maksymalny sposób wykorzystwała energię promieniowania słonecznego w procesie fotosyntezy?

Do podstawowych czynników warunkujących optymalny rozwój roślin należą bez wątpienia środowiskowe warunki wodne. W zależności od nich różnie przebiegają fizjologiczne i metaboliczne procesy w roślinie. Gospodarka wodna rośliny, mimo wieloletnich badań i obszernej literatury w tym zakresie, nie jest jeszcze całkowicie rozpoznana. Jej złożoność jest spowodowana dużą ilością takich czynników, jak typ, gatunek, odmiana i faza rozwojowa roślin, uwilgotnienie i właściwości fizyko-wodne gleby, przebieg pogody oraz warunki nawczone. Zmienność oraz wzajemne korelacje między tymi czynnikami sprawiają, że ilość wody zużytkowanej przez tę samą roślinę może być różna /Prończuk 1982, Pawlat 1982 /.

Udowodniony w licznych publikacjach znaczący wzrost plonów osiągany przy stosowaniu nawodnień kropelowych jest wynikiem właściwego wdrożenia do praktyki rezultatów badań m.in. w zakresie fizjologii roślin, fizyki gleby oraz osiągnięć techniki.

W niniejszej pracy rozważaniom poddano zagadnienie gospodarki wodnej w glebie przy nawodnieniach kropelowych w nawiązaniu do potrzeb wodnych roślin w warunkach deficytu wody.

2. Stres wodny w roślinie a potencjał wody w glebie.

W literaturze melioracyjnej zagadnienie optymalnego uwilgotnienia jest dość często podejmowane. Przyjmuje się powszechnie, że wodę dostępną dla roślin stanowi zapas wilgoci glebowej w zakresie między pojemnością polową a pojemnością okresu suszy. Jest to stosunkowo szeroki przedział, w którym stopień przyswajalności wody przez korzenie roślin jest różny.

Na podstawie takiej definicji wody dostępnej opracowane zostały zasady gospodarki wodnej w glebie dla systemów nawadniających.

Ich podstawowym założeniem jest maksymalne wykorzystanie zdolności retencyjnej gleb. Wiąże się ono z technicznymi możliwościami nawodnień zalewowych, stokowych, bruzdowych lub deszczownianych. Ponadto maksymalne wykorzystanie retencji glebowej pozwala na stosowanie minimalnej ilości nawodnień. Zwiększenie ilości nawodnień pociąga za sobą wzrost kosztów eksploatacyjnych, co zmniejsza z kolei ekonomiczną efektywność nawodnień.

Kierując się więc powyższymi względami uzyskuje się przy nawadnianiu rozciągnięty w czasie cykliczny reżim uwilgotnienia gleby.

Wyniki badań nad wpływem wody w roślinie na przebieg jej procesów życiowych w warunkach ograniczonej dostępności wody wskazują jednak, że utrzymanie wilgotności gleby w przedziale: połowa pojemność wodna - pojemność okresu suszy, nie odpowiada w pełni wymaganiom roślin. W licznych badaniach stwierdza się, że nawet niewielki niedostatek wody wpływa na zakłócenia niektórych procesów fizjologicznych i metabolicznych rośliny.

Próba syntezy badań w tym zakresie jest tabela 1 opracowana przez Hsiao i innych /1976/, w której przedstawiono wpływ spadku potencjału wody w tkankach rośliny na jej procesy życiowe.

Tabela 1

Uogólniona wrażliwość procesów i parametrów metabolicznych w roślinie na stres wodny /według Hsiao 1976/

Parametr lub proces ^x	Wrażliwość na stres wodny		
	b.silna		brak reakcji
	Zmniejszenie potencjału w tkance niezbędne do wywołania efektu		
	0	1	2 MPa
Wzrost komórki /-/	---		
Synteza ściany komórkowej /-/	---		
Synteza białka /-/	---		
Tworzenie protochlorofilu /-/	---		
Poziom reduktazy azotanowej /-/	---		
Synteza kwasu abscysynowego /+/ a/ mezofity	---	---	
b/ niektóre kseroфіty		-----	
Asymilacja CO ₂ /-/ a/ mezofity		---	
b/ niektóre kseroфіty		-----	
Respiracja /-/		-----	
Przewodność ksylemu /-/		-----	
Akumulacja proliny /+/ Poziom cukru /+/ a/ mezofity		---	

^x /-/ oznacza zahamowanie procesu lub zmniejszenie parametru
 /+/- oznacza przyspieszenie procesu lub zwiększenie parametru

Długość linii ciągłych w tab. 1 określa zakres stresu wodnego, w którym dany proces najpierw ulega zahamowaniu. Linie przerywane Hsiao podał na podstawie mniej pewnych danych. Redukcja potencjału wody w tkankach rośliny została odniesiona do roślin żyjących w dobrych warunkach wodnych przy umiarkowanym parowaniu.

Z tabeli 1 wynika, że zmniejszenie potencjału o około 10 barów powoduje naruszenie większości procesów życiowych rośliny. Do najbardziej czułych na brak wody należy wzrost komórek, synteza ścian komórkowych oraz synteza białka. Ponieważ istnieje korelacja między potencjałem wody w roślinie a potencjałem wody glebowej /m.in. Hansen 1974a, 1974b, Stegman i inni 1976 /, więc wzrost liści zależy od dostępności wody glebowej. Mengel i Kirkby /1983/ cytują wyniki badań nad wzrostem kukurydzy. Tempo wzrostu młodych liści kukurydzy malało, gdy dostępność wody w środowisku korzenia spadała z -0,1 do -0,2 bara, co odpowiada wartości pF 2,0 i 2,3. Potencjał wody w liściu zmniejszał się wówczas od -2,8 do -7,0 barów.

Analiza zmian w innych procesach metabolicznych wskutek deficytu wody świadczy o złożonym wpływie stresu wodnego na wzrost roślin. Gospodarka wodna rośliny nie jest niezależnym i wyłączonym procesem, lecz spełnia kluczową rolę w prawie wszystkich przejawach rozwoju rośliny. Dlatego też ściśle określenie ilościowych zależności między potrzebami wodnymi roślin a wielkością lub wartością plonu wymaga wielostronnego podejścia. Olbrzymia większość eksperymentów dotyczących np. wpływu nawodnień na plon dostarcza wyniki mogące świadczyć jedynie o kierunku takich zależności. Przykładem konieczności wielostronnego podejścia do tych zagadnień jest mechanizm działania komórek szparkowych. Od dawna jest znana ich rola w regulacji bilansu wodnego rośliny. Wyniki ostatnich badań /Mengel i Kirkby 1983/ wskazują jednak na znacznie bardziej skomplikowany przebieg ich otwierania lub zamykania. Nie zależy on tylko, jak dawniej sądzono, od zmian turgoru komórek roślinnych. Udowodniono, że na ich działanie duży wpływ ma akumulacja kationu K^+ i poziom CO_2 w komórkach szparkowych,

temperatura i inne. Stwierdzono np. wzmoczoną transpirację u roślin pozbawionych potasu.

Obecnie uznaje się /Begg i Turner 1976/, że komórki szparkowe nie reagują na zmiany w potencjale wodnym liścia, aż do pewnego stanu krytycznego. Jednakże nawet wtedy, gdy stan ten nie został osiągnięty, może nastąpić redukcja plonu jako efekt deficytu wodnego na inne procesy w roślinie. Podkreślając ten fakt Hsiao /1976/ wyróżnił w kształtowaniu się stresu wodnego dwa poziomy:

1. Stres zbyt łagodny dla zamknięcia komórek szparkowych i zahamowania fotosyntezy, ale dość duży na oddziaływanie na inne parametry wzrostu. Na tym poziomie rozwój powierzchni liścia może zostać zredukowany jako konsekwencja zmniejszonego rozwoju komórek. Nie występuje tu bezpośredni efekt deficytu wody na fotosyntezę, lecz zredukowana powierzchnia liścia może przechwycić tylko część padającej radiacji i w ten sposób zmniejszona zostaje łączna asymilacja CO_2 .
2. Stres poważny wystarczający do obniżenia potencjału liścia poniżej stanu krytycznego, przy którym następuje zamknięcie komórek szparkowych. Obok zahamowania innych procesów prowadzi to do redukcji asymilacji CO_2 , zarówno na jednostkę powierzchni liścia, jak i całego pola.

W jednej ze swych wcześniejszych prac Hsiao /1973/ podaje, że stres łagodny występuje u większości roślin wówczas, gdy potencjał wody w roślinie pod wieczór nie jest mniejszy od -12 barów. Przy spadku potencjału poniżej -16 barów zahamowaniu ulegają wszystkie ważniejsze procesy życiowe rośliny.

Oczywiście obydwie formy stresu wodnego w roślinie powodują w efekcie zmniejszenie plonu. Stopień ich szkodliwości zależy głównie od czasu trwania niedostatku wody. Ostry niedobór wody grozi całko-

witym zniszczeniem uprawy. W niektórych jednak przypadkach stres łagodny może spowodować większą obniżkę plonu od wysokiego deficytu wody. Łagodny, lecz długotrwały stres powoduje zmniejszony przyrost liścia, co jest efektem trwałym. Natomiast wysoki, lecz krótkotrwały deficyt, działa hamująco przede wszystkim na proces fotosyntezy. Wyniki eksperymentów dokonane przez Hsiao /1973/ sugerują, że jeśli okresy zmniejszonego potencjału wody w roślinie nie są zbyt długie, to ogólny wzrost roślin może pozostać nie zmniejszony, mimo zahamowania przyrostu w tych krótkich okresach. Asymilaty mogą być bowiem gromadzone w roślinie na szereg godzin przed zahamowaniem fotosyntezy, a następnie mogą zostać zużyte do przyspieszonego rozwoju po ustąpieniu wodnego deficytu. Wyniki wielu badań /m.in. Hillel 1972, Rawlins i Raats 1975/ wskazują, że jednym z warunków uzyskania wysokiego plonu jest utrzymanie w okresie wegetacyjnym możliwie wysokiego potencjału wody glebowej, oczywiście przy zapewnieniu właściwego natlenienia gleb.

Matematyczne uzasadnienie powyższej hipotezy przytacza za Zaslavskim Bresler /1977/. Punktem wyjścia tego dowodu jest założenie, że zależność plon - nawodnienie zależy zarówno od średniego potencjału wody glebowej, jak i jego dobowego odchylenia od wartości średniej:

$$Y/\bar{\Phi} = Y[\bar{\Phi}, \phi(t)] \quad /1/$$

gdzie:

Y - plon,

$\bar{\Phi}$ - potencjał wody glebowej,

$\bar{\Phi}$ - średni potencjał wody glebowej w czasie t ,

$\phi(t)$ - dobowe odchylenie $\bar{\Phi}/t/$ od $\bar{\Phi}$.

Rozwijając funkcję plonu w szereg Taylora oraz dokonując kilka uproszczeń uzyskał Zaslavsky następującą zależność:

$$\bar{Y} = Y_0 / \bar{\Phi} / + \frac{G^2}{2} \frac{\partial^2 Y}{\partial \bar{\Phi}^2} \quad /2/$$

gdzie:

\bar{Y} - średni plon roślin w czasie T,

Y_0 - plon, który mógłby zostać osiągnięty, gdyby uwilgotnienie gleby było stałe,

σ^2 - wariancja .

$$\sigma^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [\phi / t^2] dt \quad /3/$$

Pierwsza część prawej strony równania /2/ przedstawia plon, który mógłby zostać osiągnięty przy idealnie wyrównanym stanie uwilgotnienia gleby. Druga natomiast część prawej strony tego równania stanowi korektę plonu wynikającą z wahań uwilgotnienia gleby. Przyjmuje ona wartość ujemną, jeżeli funkcja $Y/\bar{\phi}$ jest krzywą wypukłą. Ponieważ taki jej kształt był uzyskiwany w wielu eksperymentach, więc można stwierdzić, że zmiany potencjału wody w glebie wpływają niekorzystnie na zmiany plonu. Potwierdzają to m.in. badania Ševeluchy /1983/.

W powyższym rozumowaniu pominięto problem poziomu uwilgotnienia, który jednak należy rozpatrywać w aspekcie warunków środowiskowych /rodzaj gleby, warunki klimatyczne, rodzaj rośliny itd./.

Utrzymanie wysokiego potencjału wody glebowej jest niezmiernie ważne, obok zaspokojenia potrzeb wodnych roślin, także przy poborze składników pokarmowych przez korzenie. W warunkach wysokiego potencjału osmotycznego wody w glebie opory przepływu środków nawozowych do rośliny nie są duże. Przy cyklicznym uwilgotnieniu gleby mającym miejsce przy nawadnianiu tradycyjnymi systemami cykliczna jest również dostępność składników pokarmowych. Przy dużych dawkach nawozowych znaczne obniżenie wilgotności gleby może doprowadzić do objawów związanych z zasoleniem. Konsekwencją zmniejszenia potencjału osmotycznego jest m.in. utrudniony pobór wody przez korzenie roślin. Zaznacza się także toksyczne działanie soli na organizm rośliny. W tym świetle zrozumiałe są wyniki eksperymentów rolniczych, według których optymalne wykorzystanie nawozów ma miejsce jedynie w warunkach właściwego uwilgotnienia.

3. Gospodarka wodna w glebie.

3.1. Uwagi ogólne.

Zasygnalizowane wyżej problemy gospodarki wodnej roślin dowodzą, że przejście na wyższy poziom plonowania roślin wymaga zmiany zasad gospodarki wodnej w glebie przy nawodnieniach zwilżających. Polegać one muszą na ścisłym dostosowaniu wysokości i częstotliwości dawek nawadniających do zmieniających się w zależności od fazy rozwojowej potrzeb wodnych roślin, a także adekwatnych do warunków klimatycznych oraz fizyko-wodnych właściwości gleb. Tak wysokim wymaganiom odpowiadać mogą jedynie precyzyjne systemy rozprowadzania wody charakteryzujące się możliwością podawania małych dawek polewowych, lecz o dużej częstotliwości. Ze stosowanych obecnie systemów nawadniających tylko możliwości techniczne tzw. nawodnień zlokalizowanych /kroplowych, wgłębnych lub mikrodeszczowni/ pozwalają na prowadzenie takiej gospodarki wodnej. Potwierdzają to m.in. wyniki badań autora nad zautomatyzowanym systemem nawodnień wgłębnych /Pierzgałski 1983/.

W odróżnieniu od innych systemów nawadniających, przy nawodnieniach kroplowych głównym założeniem gospodarki wodnej w profilu glebowym jest utrzymanie stałego potencjału wody w glebie na poziomie zależnym od właściwości wodnych gleby i wymagań wodnych uprawianej rośliny. Rozkład uwilgotnienia gleby przy nawodnieniu kroplowym zależy od technologii nawadniania /wydatek zwilżacza, czas trwania polewu, częstotliwość dawek/ oraz od intensywności wyczerpywania wody z profilu glebowego.

W wyniku punktowego dostarczania wody na powierzchnię następuje trójwymiarowy proces infiltracji w glebie. Przy małych i częstych dawkach polewowych proces infiltracji dominuje nad prowadzącym do wysychania gleby procesem poboru wody przez korzenie roślin. Dlatego też w pierwszych rozważaniach nad dynamiką uwilgotnienia gleby przy nawodnieniach kroplowych /np. Brandt i współautorzy 1971, Raats 1971, Philip 1971, 1972/ pomijano funkcję poboru wody w wyjściowych równa-

niach przepływu wody w nienasyconym ośrodku porowatym. Jednakże ostatnio /m.in. Warrick i współautorzy 1979, 1980; Oron 1981/ przedstawiono modele, w których dzięki uwzględnieniu ekstrakcji wody przez korzenie dokładniej opisano zmiany uwilgotnienia gleby.

W rozważaniach teoretycznych dynamikę uwilgotnienia profilu glebowego najczęściej opisuje się następującym nieliniowym równaniem różniczkowym:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k/\theta/ \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k/\theta/ \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) - q/x,z,t/ \quad /4/$$

gdzie:

θ - wilgotność gleby,

t - czas,

$k/\theta/$ - współczynnik przewodności hydraulicznej gleby,

ψ - potencjał wody glebowej,

$q/x,z,t/$ - funkcja poboru wody przez korzenie.

Z uwagi na dużą częstotliwość nawodnień rozkład uwilgotnienia przyjmują niektórzy autorzy jako ustalony i wówczas lewa strona równania /4/ równa się zeru.

W literaturze spotkać można także równania opisujące zmiany uwilgotnienia w przestrzeni trójwymiarowej. W tym przypadku przechodzi się najczęściej na współrzędne cylindryczne.

Do uzyskania rozwiązania szczegółowego niezbędna jest znajomość hydraulicznych właściwości gleby, warunków początkowych i brzegowych oraz funkcji poboru wody przez korzenie. Z uwagi na nieliniowość równania /4/ tylko w nielicznych przypadkach uzyskuje się rozwiązania analityczne. Zdecydowaną większość spotykanych rozwiązań otrzymano za pomocą metod numerycznych.

3.2. Rozkład uwilgotnienia w glebie.

Kształt, zasięg i stopień zwilżenia gleby przy nawodnieniach kropkowych zależy od rozmieszczenia zwilżaczy i technologii nawadniania. Najczęściej spotykane schematy rozplanowania szczegółowej sieci nawadniającej przedstawiono na rys. 1. W zależności od rodzaju uprawy wyróżnić można następujące sposoby zwilżania gleby:

- punktowe,

Gleba nawadniana jest za pomocą pojedynczych zwilżaczy rozmieszczonych w takich odległościach od siebie, że nie występuje kontakt zwilżonych przez nich brył gleby.

- skupione,

Nawadnianie odbywa się za pomocą kilku blisko siebie rozmieszczonych zwilżaczy np. wokół drzewa. W tym przypadku uzyskuje się zwilżenie większej bryły gleby.

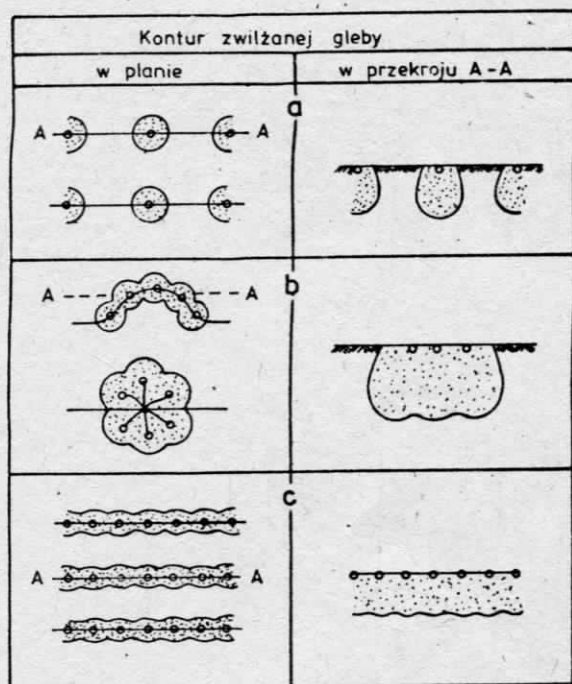
- pasmowe,

Stosuje się przy uprawach rzędowych mniejszych roślin. Rozstawa zwilżaczy umieszczonych na tym samym rurociągu jest tak dobrana, aby otrzymać kontakt między sąsiednimi frontami zwilżenia i uzyskać w efekcie nawadniane pasy gleby.

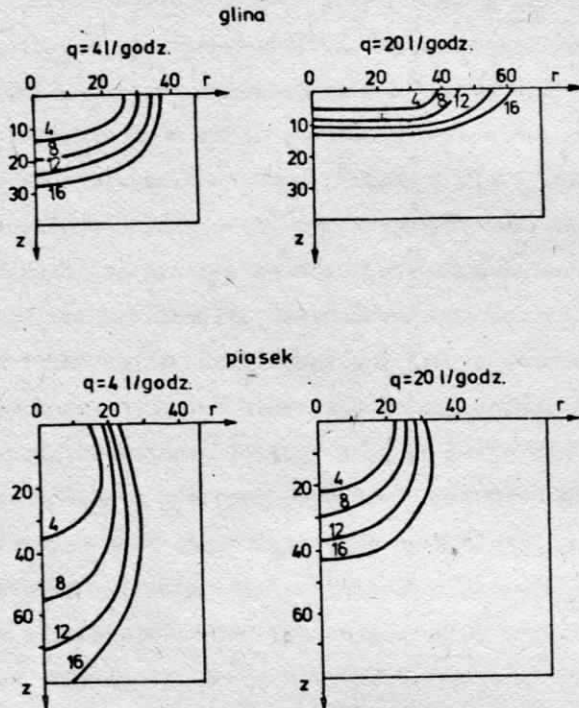
Znajomość zasięgu zwilżenia profilu glebowego przy podawaniu wody z pojedynczego zwilżacza jest potrzebna do właściwego rozmieszczenia zwilżaczy oraz określenia ich rozstawy.

Dynamika frontu zwilżenia zależy od właściwości fizyko-wodnych gleby, wydatku zwilżacza oraz objętości podanej wody. Ilustracją tych zależności są przedstawione na rys. 2 rezultaty badań Breslera /1977/.

Wynika z nich, że w fazie eksploatacji można korygować obliczenia projektowe, a także dostosowywać działanie systemu do zmieniających się warunków środowiskowych. W innych systemach melioracyjnych możliwości takiej adaptacji są nieporównywalnie mniejsze, lub nie ma ich wcale. Jest to cecha bardzo istotna, charakterystyczna tylko dla systemu nawodnień kropkowych i innych nawodnień zlokalizowanych.



Rys.1 Typowe rozmieszczenie zwilżaczy i kontury zwilżonej gleby przy nawodnieniach kropłowych
 a - punktowe, b - skupione, c - pasmowe.



Rys.2 Zasięg i kształt frontu zwilżania gleby przy kropowym nawadnianiu /wg Breslera 1977/
 q - wydatek zwilżacza, r - odległość od zwilżacza w cm, z - głębokość od powierzchni terenu w cm.
Liczby podane przy kolejnych frontach zwilżania oznaczają łączną objętość podanej wody w litrach.

Możliwość elastycznego operowania systemem przez użytkownika w tak dużym stopniu stanowi nową jakość w dotychczasowej praktyce melioracyjnej. Pociągnie ona za sobą intensywny rozwój badań nad metodami określania terminu i wielkości dawek polewowych, co nie było dotychczas, przy założeniu wykorzystywania pełnej zdolności retencyjnej gleb, tak istotne. Wiąże się z tym także konieczność konstruowania nowej generacji czujników do sterowania systemem, bez których nie będzie można osiągnąć możliwych do uzyskania przy stosowaniu nawodnień kroplowych efektów gospodarczych.

3.3. Obliczenie rozstawy zwilżaczy.

Obliczenie rozstawy zwilżaczy w fazie projektowania jest niezbędne. Podkreślana wcześniej możliwość korygowania w fazie eksploatacji wyników obliczeń projektowych nie oznacza eliminacji potrzeby ich wykonywania. Wskazuje jedynie, że dopuszczalna jest tu tylko większa tolerancja dokładności. Dlatego też w praktyce projektowej dobór rozstawy dokonuje się w oparciu o przybliżone metody obliczeń lub na podstawie analogowych materiałów empirycznych.

Obliczenia dokładne mające na celu rozwiązanie problemu postawionego w równaniu /4/ wymagają bowiem posiadania szczegółowych charakterystyk środowiskowych i mogą być w zasadzie dokonane jedynie za pomocą metod numerycznych przy użyciu odpowiednich maszyn cyfrowych. Na obecnym etapie rozwiązywanie tą drogą równań opisujących procesy przepływów w glebie ma znaczenie głównie poznawcze. Przy badaniu procesów przepływów wody, celem eksperymentów numerycznych jest poszukiwanie wpływu różnych czynników na uwilgotnienie gleby. Dąży się jednak do uogólnienia wyników i podania ich w formie przydatnej do zastosowań praktycznych. Przykładem takich obliczeń jest podany przez Breslera /1977/ nomogram /rys.3/ do określania rozstawy zwilżaczy przy nawodnieniu pasmowym.

W celu określenia rozstawy należy przyjąć wydatek zwilżacza oraz ciśnienie ssące wody glebowej h_g na powierzchni gleby w środku między sąsiednimi zwilżaczami. Zakładana wartość h_g zależy od czułości roślin na stres wodny. Przy uprawach mniej czułych roślin dopuszcza się mniejsze ciśnienie ssące /większa wartość ujemna/. Przedstawiony nomogram ma ograniczone zastosowanie do gleb o podobnych właściwościach do badanych przez Breslera. Niemniej jednak na jego podstawie można zorientować się o zakresie rozstawy, a także wpływie na nią wydatku zwilżacza i pożądanych warunków wilgotnościowych / h_g /.

Przykładem nomogramu uzyskanego inną od powyższej metodą jest rys.4. Podano na nim otrzymaną przez Warricka i innych /1979/ zależność będącą analitycznym rozwiązaniem ustalonego zlinearyzowanego

równania różniczkowego.

Dla określenia rozstawy według tej metody potrzebne są następujące dane:

q - natężenie przepływu w rurociągu nawadniającym, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-1} \text{doba}^{-1}$,

h_s - dopuszczalne ciśnienie ssące gleby w środku rozstawy, cm ,

oraz współczynniki występujące w równaniu:

$$k = k_s \exp \left(\frac{\alpha h}{L} \right) \quad /5/$$

gdzie:

k - współczynnik przewodności hydraulicznej gleby, $\text{cm} \text{doba}^{-1}$,

k_s - współczynnik przewodności hydraulicznej gleby przy pełnym nasyceniu gleby wodą /współczynnik filtracji/, $\text{cm} \text{doba}^{-1}$,

h - ciśnienie ssące wody glebowej, cm ,

α - parametr stały zależny od rodzaju gleby. Wartość α według Philipa /1968/ waha się od 0.05cm^{-1} /gleby lekkie/ do 0.002cm^{-1} /gleby b. ciężkie/.

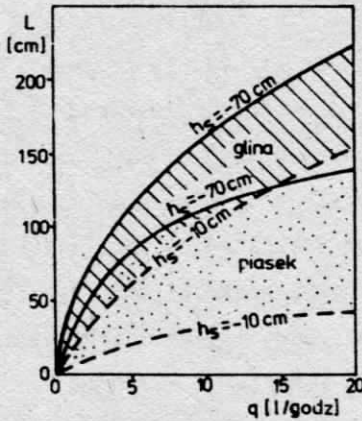
Procedura korzystania z nomogramu jest następująca. Po określe-
niu w w parametrów oblicza się współczynnik A :

$$A = \left(\frac{q}{k_s} \right) \exp \left(-\alpha h_s \right) \quad /6/$$

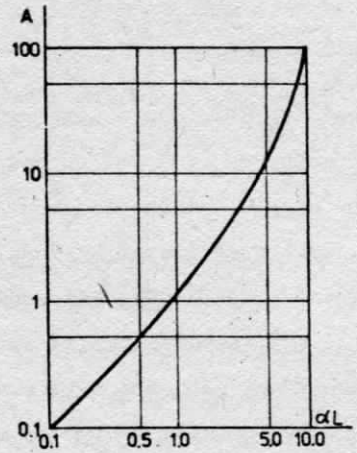
Z wykresu na rys.4 odczytuje się bezwymiarową wartość αL , a następnie rozstaw L .

W tym samym opracowaniu Warrick i inni /1979/ przedstawili bardziej złożony nomogram /rys.5/ uwzględniający obok wzajemnych zależności parametrów technicznych systemu także pobór wody przez korzenie roślin. Jest on oparty na kilku założeniach:

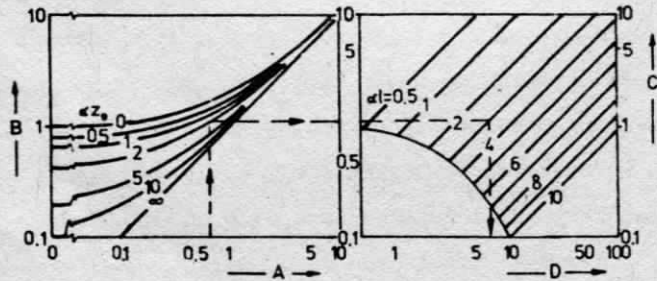
- przepływ wilgoci ma charakter ustalony,
- przewodność hydrauliczną gleby można opisać równaniem 5,
- pobór wody przez korzenie jest stały dla $0 < z < z_0$, gdzie z_0 oznacza głębokość strefy korzeniowej.
- parowanie z powierzchni gleby nie wpływa na uwilgotnienie gleby.



Rys.3 Zależność między rozstawą L i wydatkiem q zwilżaczy /wg Breslera 1977/



Rys.4 Zależność między współczynnikiem $A = q \cdot k_s^{-1} / \exp(-\alpha h_g)$ i bezwymiarową wielkością αL /wg Warricka i in.1979/



Rys.5 Nomogram do określania rozstawy zwilżaczy w systemie nawodnień kroplowych przy uwzględnieniu poboru wody przez korzenie roślin / wg Warricka i in.1979/

W wyniku analitycznego rozwiązania równania przepływu wody w glebie otrzymano zależność następującą:

$$h_s = (1/\alpha) \ln \left\{ (q/k_s L) \left[\exp / -0.24 \alpha L / + \right. \right. \\ \left. \left. + \exp / -\alpha z_f - 1/\alpha / uL / q \alpha z_o \right] \right\} \quad /7/$$

gdzie:

u - pobór wody przez korzenie roślin, cm doba^{-1} .

Pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Za pomocą równania /7/ lub zbudowanego na jego podstawie nomogramu określić można różne parametry techniczne systemu nawodnień kropłowych. Przy korzystaniu z nomogramu trzeba obliczyć odpowiednie współczynniki:

$$A = /k_s / u / \exp / \alpha h_s / \quad /8/$$

$$B = A + [1 - \exp / -\alpha z_o /] / \alpha z_o \quad /9/$$

$$C = /q / Lu / \exp / -0,24 \alpha L / \quad /10/$$

$$D = \alpha q / u \quad /11/$$

Schemat sposobu określania rozstawy zwilżaczy zaznaczono na rys.5.

4. Wnioski

1. Badania empiryczne potwierdzone rozważaniami teoretycznymi nad zagadnieniami gospodarki wodnej w glebie uwzględniającej wymogi wodne roślin wskazują, że podstawowym warunkiem optymalizacji plonowania jest utrzymywanie w glebie wysokiego i stałego potencjału wody, którego poziom zależy przede wszystkim od rodzaju gleby, upraw oraz fazy rozwojowej roślin.
2. Zapewnienie wyżej sformułowanych wymagań pociąga za sobą konieczność dokonania zmiany zasad gospodarowania wodą w glebie przy nawodnieniach zwilżających w kierunku stosowania małych i częstych dawek polewowych. Oznacza to zmniejszenie znacze-

nia ważnego parametru glebowego, jakim jest zdolność retencyjna gleb. Wskazuje to także na możliwość intensyfikacji produkcji rolniczej na glebach lekkich, których mała zdolność retencyjna jest podstawowym czynnikiem ograniczającym produkcję.

3. Z obecnie stosowanych systemów nawadniających jedynie nawodnienia kropłowe i im pokrewne pozwalają na prowadzenie tak określonej precyzyjnej gospodarki wodnej. W odróżnieniu od innych systemów charakteryzują się one także dużą elastycznością w czasie eksploatacji i możliwościami adaptacyjnymi do zmieniających się warunków środowiskowych.
4. Ta eksploatacyjna właściwość nawodnień kropłowych wskazuje na celowość podjęcia intensywnych badań nad określaniem terminu i wielkości dawek polewowych oraz działań w celu konstruowania nowej generacji czujników do zbierania danych i sterowania systemem. Zasadniczym warunkiem ich powodzenia jest jednak zintegrowanie prac badawczych z wielu dziedzin m.in. fizjologii roślin, fizyki gleby, hydrauliki i innych.
5. Rozstaw zwilżaczy przy projektowaniu nawodnień kropłowych można obliczać według przedstawionych nomogramów. Należy jednak podkreślić, że w porównaniu do innych mało elastycznych systemów melioracyjnych przy określaniu rozstawy zwilżaczy można przyjąć większą tolerancję dokładności obliczeń.

Literatura

- Begg J.E., Turner N.C., 1976: Crop water deficits. *Advances in Agronomy*. vol.28, 161-217.
- Brandt A., Bresler E., Diner N., Ben-Asher I., Heller J., Goldberg D., 1971: Infiltration from a trickle source: I. Mathematical models. *Soil Sci. Amer. Proc.* 35, 675-682.
- Bresler E., 1977: Trickle-drip irrigation: Principles and application to soil - water management. *Advances in Agronomy*. 29, 343-393.
- Hansen G.K., 1974: Resistance to water flow in soil and plants, plant water status, stomatal resistance and transpiration of Italian Ryegrass, as influenced by transpiration demand and soil water depletion. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 24, 83-92.
- Hillel D., 1972: Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields. Academic Press, New York, 79-100.
- Hsiao T.C., 1973: Plant responses to water stress. *Rev. Plant Physiol*, 24, 519-570.
- Hsiao T.C., Acevedo E., Fereres E., Henderson D.W., 1976: Water stress, growth, and osmotic adjustment. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B* 273, 479-500.
- Mengel K., Kirkby E.A., 1983: Podstawy żywienia roślin. PWRiL W-wa.
- Oron G., 1981: Simulation of water flow in the soil under sub-surface trickle irrigation with water uptake by roots. *Agricultural Water Management*. 3, 179-193.
- Pawlat H., 1982: Granice produktywności nawadnianych zbiorowisk trawlastych w warunkach zróżnicowanego nawożenia. Wyd. SGGW-AR W-wa.
- Philip J.R., 1968: Steady infiltration from buried point sources and spherical cavities. *Water Resources Research* 5, 1039-1047.

- Philip J.R., 1971: General theorem on steady infiltration from surface sources, with application to point and line sources. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35,867-871.
- Philip J.R., 1972: Steady infiltration from buried, surface, and perched point and line sources in heterogeneous soils: I. Analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36,268-272.
- Philip J.R., Forrester R.I., 1975: Steady infiltration from buried, surface, and perched point and line sources in heterogeneous soils: II. Flow details and discussion. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39, 408-414.
- Pierzgalski E., 1983: Problemy eksploatacji nawodnień wglębnych. *Mat. Konf. Usprawienia w eksploatacji urządzeń melioracyjnych.* Wrocław.
- Prończuk J., 1982: *Podstawy ekologii rolniczej.* PWN W-wa.
- Raats P.A.C., 1971: Steady infiltration from point sources, cavities and basins. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35,689-694.
- Rawlins S.I., Raats P.A.C., 1975: Prospects for high-frequency irrigation. *Science.* 188,604-610.
- Warrick A.W., Amoozegar-Fard A., Lomen D.C., 1979: Linearized moisture flow from line sources with water extraction. *Trans. ASAE* 22,548-553.
- Sevelucha W.S., 1983: Fizjologičeskije i meliorativnije problemy regulirujemowo zemledelija.w: Biologičeskije i agrotehničeskije osnovy orošaemowo zemledelija. Nauka, Moskwa. 44-60.
- Stegman E.C., Schiele L.H., Bauer A., 1976: Plant water stress criteria for irrigation scheduling. *Trans. ASAE.* 850-855.