

dr inż. Edward Pierzgałski

Katedra Melioracji Rolnych i Leśnych

SGGW-AR

## Rozwój nawodnień wglębnych

### 1. Wprowadzenie

Początek rozwoju nawodnień kroplowych określa się zwykle na początek lat 60-tych bieżącego stulecia. Od tego okresu nastąpił szybki wzrost powierzchni nawadnianej tym systemem. Jednakże próby wdrażania zasady działania nawodnień kroplowych prowadzono znacznie wcześniej. Wyróżniając wśród odmian nawodnień kroplowych nawodnienia podpowierzchniowe /Davis 1974, ASAE Standard 1983/ wskazuje się, że historia nawodnień kroplowych jest znacznie dłuższa. Jako jej początek uznać można pierwsze próby zwilżania warstwy korzeniowej za pomocą rurociągów zainstalowanych pod powierzchnią terenu, które prowadzono już w połowie *murow* ubiegłego wieku.

W Polsce nawodnienia z sieci podziemnych rur przy głębokim i nie biorącym udziału w zasilaniu górnych warstw profilu glebowego zwierciadle wody gruntowej nazywa się, zgodnie z klasyfikacją podaną przez Ostromęckiego /1973/, nawodnieniami wglębnymi lub przesiąkowymi.

Mimo wielu bezspornych zalet i szeregu rozwiązań konstrukcyjnych, system nawodnień wglębnych /SNW/ w ciągu ponad stuletniej *11* historii nie rozwinął się do postaci, która znalazłaby szerokie praktyczne zastosowanie. Dopiero w ostatnich latach obserwuje się na świecie ponowny wzrost zainteresowania tym systemem. Szereg rozwiązań przeszło już fazę eksperymentalną i znalazło zastosowanie na obiektach produkcyjnych.

W niniejszej pracy przedstawiono kierunki rozwoju SNW, podstawowe wady hamujące jego rozwój oraz sposoby ich przezwyciężenia. Celowość badań podstawowych i wdrożeniowych nad tym systemem nawodnień uzasadnia obecny stan techniki pozwalający na wyeliminowanie pozostałych jeszcze wad SNW. Sprawia to, że istnieje wysokie prawdopodobieństwo na szersze zastosowanie SNW w niedalekiej przyszłości. Tym bardziej, że w warunkach ograniczonych zasobów energetycznych i materiałowych rozwijane będą tylko technologie oszczędne pod względem energochłonności, wykorzystania wody i nawozów. A do takich należą bez wątpienia nawodnienia wstępne przewyższające pod wieloma względami inne systemy nawadniające.

## 2. Rozwój konstrukcji SNW

W rozwoju systemów nawodnień wstępnych wyróżnić można trzy etapy:

- etap I; obejmujący okres od pierwszych prób z nawodnieniem wstępnym /1860/ do zastosowania rur z tworzyw sztucznych w SNW /ok. 1960 r./
- etap II; stanowiący ok. 20-letni okres badań nad zastosowaniem rur z tworzyw sztucznych
- etap III; obejmujący okres od końca lat 70-tych do chwili obecnej

### Etap I

Pierwsze rozwiązania polegały na wykorzystaniu ceramicznej sieci drenarskiej do nawodnień poprzez wstrzymanie odpływu lub zasilanie ich w wodę. W 1860 roku Peterson /wg Schrödera, 1972/ zastosował system drenaży z zamknięciami na polu nawadnianym systemem stokowym. Inne najwcześniejsze doniesienia o SNW to prace Müllera /1869/, Rame /1893/, W. i E. Green /1895/. W następnych latach literatura z zakresu nawodnień wstępnych bardzo szybko się

powiększa : Spencer / 1916/, Covey / 1917/, Nouse / 1918/, Whitney / 1922/, Korniew / 1923/ i inne.

W opisywanych systemach z tego okresu główną uwagę zwracano na następujące elementy :

- konstrukcja i rozplanowanie rurociągów nawadniających,
- urządzenia doprowadzające wodę z rurociągu nawadniającego do gleby,
- zabezpieczenia przed nadmiernymi stratami wody spowodowane przesiąkami w głąb profilu glebowego.

Do budowy przewodów nawadniających oprócz drenów ceramicznych stosowano inne dostępne wówczas materiały, jak drewno cementowe /częściowo lub całkowicie porowate/, cegłę dziurawkę a także, w latach 30-tych, rury metalowe.

Woda w tych systemach przepływała z przewodu nawadniającego do gleby poprzez styki między sączkami drenarskimi. W systemach opartych na rurach porowatych styki uszczelniane były nieprzepuszczalnym materiałem. W rurach metalowych nawiercano otwory. Zarówno styki, jak i otwory zabezpieczono w różny sposób przed zarastaniem korzeniami.

W celu wyeliminowania strat wody na przesiąki wykonywano pod rurociągami rynny betonowe, murowane z cegły lub gliny palonej, paski z papy lub eternitu.

Z rozwiązań stosowanych we wczesnym okresie rozwoju SNW wymienić można jeszcze prace Janerta /wg Schrödera, 1972/ polegające na wypełnianiu porowatym betonem kanalików wykonanych przy drenowaniu krecim. Ciekawy pod względem konstrukcyjnym był system Korniewa /wg Marcilonka, 1957/, który opracował absorpcyjny system nawadniania. Wymagał on jednak stosowania materiału przepuszczającego wodę i nieprzepuszczalnego dla powietrza.

Szczegółowe opisy tych systemów znaleźć można w pracach Marcilonka /1957/ oraz Ostromęckiego /1973/.

W Polsce prace badawcze nad SNW zapoczątkował Bac w latach 1937-1944, które w latach 1949-1953 kontynuowali: Boćko, Kutera, Marcilonek, Roguski, Szklarz i inni. W badaniach krajowych stosowano rury drenarskie oraz porowate rury cementowe.

Wyniki eksperymentów nad systemami nawodnień wgłębnych zrealizowanych w tym okresie potwierdziły tylko częściowo ich teoretyczne zalety. W sprawozdaniach z badań podkreślano wady, których nie potrafiono usunąć: nierównomierny rozkład wilgoci w glebie, duże straty spowodowane przesiąkami w głąb profilu, zawodność w działaniu, wysokie koszty. Spowodowały one, że system ten zalecano tylko do upraw szklarniowych i to przy odpowiednich warunkach glebowych. W praktyce ani w Polsce, ani w świecie nawodnienia wgłębne nie znalazły szerszego zastosowania.

Przyczynami niepowodzeń pierwszych rozwiązań SNW były:

- brak należyście opracowanych podstaw teoretycznych z zakresu fizyki gleby i hydrauliki przewodów wydatkujących po drodze
- brak materiałów odpowiadających wymogom SNW

Konstruowanie SNW odbywało się głównie w oparciu o empiryczne doświadczenia. W świetle obecnego stanu wiedzy w/w dziedzin można wykazać, że wydatek z rurociągów drenarskich jest zbyt duży w stosunku do retencji glebowej. Powodowało to konieczność stosowania zabezpieczeń przed przesiąkami, które ich nie likwidowały, lecz jedynie zmniejszały, zwiększając koszt urządzeń. Przy dużych wydatkach szczelin lub otworów i stosunkowo dużych rozstawach rurociągów nie było możliwe uzyskanie odpowiedniej równomierności uwilgotnienia gleby zarówno w przekroju między przewodami, jak i wzdłuż rurociągów. Zmniejszenie rozstawy podważało z kolei celowość ekonomiczną stosowania tego typu nawodnień. Dla porównania warto podać, że już w latach 20-tych jako

uzasadnioną pod względem ekonomicznym minimalną rozstawę drenowania ustalono na 8 m i wielkość ta jest ciągle aktualna. Natomiast właściwości retencyjne i przewodzące gleby wymagają stosowania rozstaw urządzeń nawadniających znacznie mniejszych.

Dlatego też podane przez Ostromęckiego /1973/ ograniczenie stosowania SNW do gleb o dużej polowej pojemności wodnej i dość dużej przepuszczalności przy jednoczesnym występowaniu poniżej drenów mało przepuszczalnego poziomu było uzasadnione w odniesieniu do systemów opracowanych w I etapie ich rozwoju. Wymóg ten przestał być natomiast konieczny przy stosowaniu wspólnie konstruowanych SNW.

## Etap II

Rozpoczęcie na skalę przemysłową produkcji tworzyw sztucznych /polichlorek winylu 1931, polistylen wysokociśnieniowy 1939, polistylen niskociśnieniowy 1956/ i uzyskanie rur z tych tworzyw zapoczątkowało nowy etap w rozwoju SNW. W latach 60-tych bieżącego stulecia, czyli równoległe z rozwojem powierzchniowych nawodnień kropłowych, obserwuje się wyraźny wzrost zainteresowania nawodnieniami wglębnymi. Możliwość stosowania małych średnic rur z tworzyw sztucznych, ich stosunkowo niskie ceny oraz łatwy sposób zakładania /bezrowkowy za pomocą traktora z prostym przyrządowaniem/ pozwoliły na konstrukcję nowej generacji SNW odznaczającej się już zaletami zbliżonymi do teoretycznie zakładanych. W tym okresie, podobnie jak w poprzednim etapie, kontynuowano udoskonalanie SNW pod względem technicznym. Ponadto prowadzono polowe i laboratoryjne eksperymenty w celu określenia wpływu nawodnień podpowierzchniowych na plony uprawianych roślin w porównaniu do innych systemów nawadniających. Szczegółowo badano szereg innych aspektów stosowania SNW, jak rozkład uwilgotnienia w glebie, zużycie wody, rozkład soli w profilu glebowym, rozwój

systemu korzeniowego, zasady eksploatacji itd. Podjęto także badania teoretyczne nad hydrauliką przewodów i zwilżaczy /w formie otworów, nacięć, zwilżaczy nasadkowych/ oraz nad dynamiką uwilgotnienia gleby wykorzystując współczesne narzędzia i możliwości badawcze.

Do konstrukcji przewodów nawadniających najczęściej stosowano sztywne lub giętkie gładkie rury polietylenowe o średnicach od 10 do 40 mm. W USA badano przydatność rur do nawodnień głównie o średnicy 12,7 mm /1/2 cala/. Wymienić tu można badania, które prowadzili: Zetsche /1964, 1966/, Braud i in. /1965/, Mitchell i Usherwood /1967/, Hanson i Patterson /1974/, Whitney i Lo /1968/, Hanson i Williams /1968/, Wendt i in. /1972/, Nelson i Davis /1974/.

Rury o średnicach 16, 28, 36 mm zainstalowano na obiektach w Tadżykistanie /Legostajew i in. 1975/. We Włoszech SNW oparte były o przewody o średnicach od 10 do 20 mm /Turnon, 1975/. O zastosowaniu w NRD rur karbowanych o średnicach 23 lub 56 mm informuje Olbertz /1983/.

Przewody o średnicach mniejszych od 10 mm stosowano rzadziej. Badania nad ich zastosowaniem prowadzili Bakszejew i Kim /1975/ oraz Ständer /1979/.

Inną grupę przewodów używanych w nawodnieniach podpowierzchniowych były poliolefinowe porowate rury firmy Vialflo stosowane przez Willardsona /1974/, Phene /1974/, i Sepashkaha /1976/. Zastosowanie w SNW znalazły także używane w nawodnieniach kroplowych rury o podwójnych ścianach /Sammis i in., 1979; Sammis, 1980/.

Otwory, mikrootwory, nacięcia lub zwilżacze nasadkowe wykonywane na rurociągu umożliwiły uzyskanie znacznie lepszej równomierności zwilżania wzdłuż przewodu w porównaniu do rurociągów drenarskich. Najpowszechniej stosowane są otwory, które wykonuje się za pomocą dziurkowania, nakłuwania, wiercenia lub wypalania.

W literaturze istnieją odmienne poglądy na temat ich właściwego działania. Whitney i Lo /1969/ po przeprowadzeniu serii badań stwierdzili istotne wady otworów. Otwory w czasie doświadczeń ulegały zmniejszeniu, a także zatykały się cząstkami gleby. Można jednak przytoczyć szereg przykładów, w których z powodzeniem stosowano przewody z otworami. Wydaje się, że o równomierności wydatku z otworów decyduje jakość materiału, z którego wykonano przewód oraz dokładność wykonania otworów. Autorzy wspomnianej pracy badali również mikroporowate nasadki, które też zostały przez nich zdyskwalifikowane. Najlepsze wyniki uzyskano przy badaniu zaproponowanych przez autorów zwilżaczy z wewnętrznym labiryntowym przepływem wody.

Szeroko stosowane w latach 70-tych we Włoszech nacięcia na przewodach nawadniających zostały wcześniej szczegółowo przebadane przez Brauda /1967/. Stwierdził on ich przydatność do SNW oraz określił współczynniki empiryczne do wzoru na określenie wydatku ze szczelin.

Głębokość zakładania rurociągów zależy głównie od głębokości wykonywania zabiegów agrotechnicznych, lub od głębokości korzenia się roślin np. w przypadku nawadniania sadów. Generalnie zakłada się przewody nawadniające na głębokości 30 do 50 cm od powierzchni terenu. Istnieją też próby stosowania płytkich nawodnień podpowierzchniowych ok. 10-15 cm. /Sammis, 1980 ; Davis i Spencer, 1974 ; Oron, 1981/. Są one bardzo zbliżone w eksploatacji do nawodnień kropłowych. Ich podstawową wadą jest konieczność usuwania urządzeń przed zabiegami agrotechnicznymi.

Rozstawa rurociągów nawadniających jest zależna od sposobu użytkowania oraz od właściwości fizyko-wodnych gleby i technologii nawadniania. Przy rzędowych uprawach przewody układane są pojedynczo lub podwójnie wzdłuż rzędów.

Przy innych uprawach najwygodniejsza jest dla użytkownika syste-

matyczna sieć przewodów nawadniających. Umożliwia to stosowanie dowolnego płodozmianu.

Analiza wyników doświadczeń wskazuje, że rozstawa jest zależna wówczas od rodzaju gleby oraz technologii nawadniania i waha się od 0,5 m do 2,0 m.

Teoretyczne rozważania nad dynamiką uwilgotnienia gleby przy zwilżaniu podpowierzchniowym, czyli pośrednio nad rozstawą przewodów nawadniających, podjęte zostało przez wielu autorów. Zagadnieniem tym zajmowali się m. in. Whitney i in. /1966/, Yu-Si-Fok i in. /1971/, Philip /1971, 1972/, Zachman i Thomas /1973/, Warrick i Lomen /1974/, Thomas i in. /1976/, Dirksen /1978/, Warrick i in. /1979/, Oron /1981/.

Rezultatem badań teoretycznych nie są jeszcze uniwersalne rozwiązania nadające się do bezpośredniego wykorzystania w praktyce projektowej. Ich celem było i jest nadal określenie rozkładu potencjału wody w glebie przy podpowierzchniowym nawadnianiu. Rozpatruje się coraz bardziej złożone przypadki. Ostatnie z w/w prac uwzględniają już nieustalony ruch wilgoci glebowej, ekstrakcję wody przez korzenie roślin, a także anizotropowy charakter ośrodka glebowego. Ważną zaletą rozwiązań analitycznych lub uzyskanych technikami numerycznymi jest dokładność obliczeń oraz możliwość oceny wpływu poszczególnych czynników na rozkład wilgoci w glebie. Wadą natomiast jest konieczność posiadania dokładnych charakterystyk glebowo-wodnych.

### Etap III

Przy końcu lat 70-tych w rozwoju nawodnień podpowierzchniowych /podobnie jak i kropłowych/ uwidocznił się nowy kierunek związany z optymalizacją eksploatacji systemów nawadniających.

Problem terminu i dawki polewowej staje się podstawowym. Zmniejsza



się natomiast znaczenie zagadnień konstrukcyjnych. Coraz więcej uwagi poświęca się zautomatyzowaniu SNW. Automatyzację projektuje się w oparciu o tradycyjne wskaźniki zapotrzebowania wody przez rośliny /wilgotność gleby, parowanie z ewaporymetru/.

Trwają również próby wykorzystania do sterowania systemami nawadniającymi bezpośrednich pomiarów potencjału wody w roślinie, stanu komórek szparkowych lub też pośredniego wskaźnika zapotrzebowania wody przez rośliny, jakim jest różnica temperatur między temperaturą rośliny, a temperaturą otoczenia. Ten ostatni wskaźnik jest łatwy do zdalnego pomiaru.

Do problematyki eksploatacji włączone zostały także zagadnienia gospodarki nawozami, problem zasolenia gleby, nematocydów itd. Badania nad zautomatyzowanym SNW prowadzili m.in. Bavel i in. /1973/, Pierzgalski /1983/.

Ponieważ jedną z zalet nawodnień podpowierzchniowych jest łatwość, z jaką można je zautomatyzować oraz biorąc pod uwagę szybki rozwój elektroniki, można oczekiwać, że w najbliższej przyszłości ten kierunek rozwoju SNW będzie kontynuowany.

### 3. Możliwości i potrzeby stosowania nawodnień wglębnych w Polsce

Zainteresowanie nawodnieniami kropłowymi w Polsce wskazuje, że są one potrzebne i w wielu przypadkach jedynie możliwe do wykonania. Są one opłacalne pod względem ekonomicznym oraz łatwe do wykonania i niezbyt skomplikowane w eksploatacji. Ważna rola nawodnień przy uprawie sadu lub warzyw gwarantuje też właściwą konserwację urządzeń nawadniających przez użytkownika.

Ponieważ SNW posiada prawie wszystkie zalety nawodnień kropłowych, a w niektórych przypadkach nawet je przeważsza, można oczekiwać, że w przypadku pojawienia się na rynku niezawodnego pod względem technicznym systemu nawodnień wglębnych, to

Thou  
111

znajdzie on szerokie zastosowanie. Oczywiście w pierwszej kolejności przy nawadnianiu sadów, roślin specjalnych np. chmielu oraz warzyw. W niektórych przypadkach nawodnienie podpowierzchniowe jest wręcz wskazane, np. przy uprawie roślin czułych na zagrzybienie. Także szkółki nawadniane obecnie systemem kropłowym, z uwagi na potrzebę wykształcenia głębszego systemu korzeniowego powinny być raczej nawadniane systemem wgłębnym. Trudno jest podać powierzchnię, która mogłaby zostać objęta SNW. Wymowne jest natomiast tempo przyrostu powierzchni nawadnianej wgłębnie w innych krajach. Na przykład w 1960 roku we Włoszech nawadniano tym systemem 600ha, w 1971 r. już 10000 ha, a w 1975 roku 15000 ha /Turnon, 1975/.

Rozpatrując przedstawione na rys.1 elementy mogące wchodzić w skład SNW można stwierdzić, że wszystkie można wykonać w kraju. Aktualnie w Katedrze Melioracji Rolnych i Leśnych SGGW-AR prowadzi się badania polowe nad różnymi aspektami działania nawodnień wgłębnych opartych na rurkach PVC o małej średnicy.

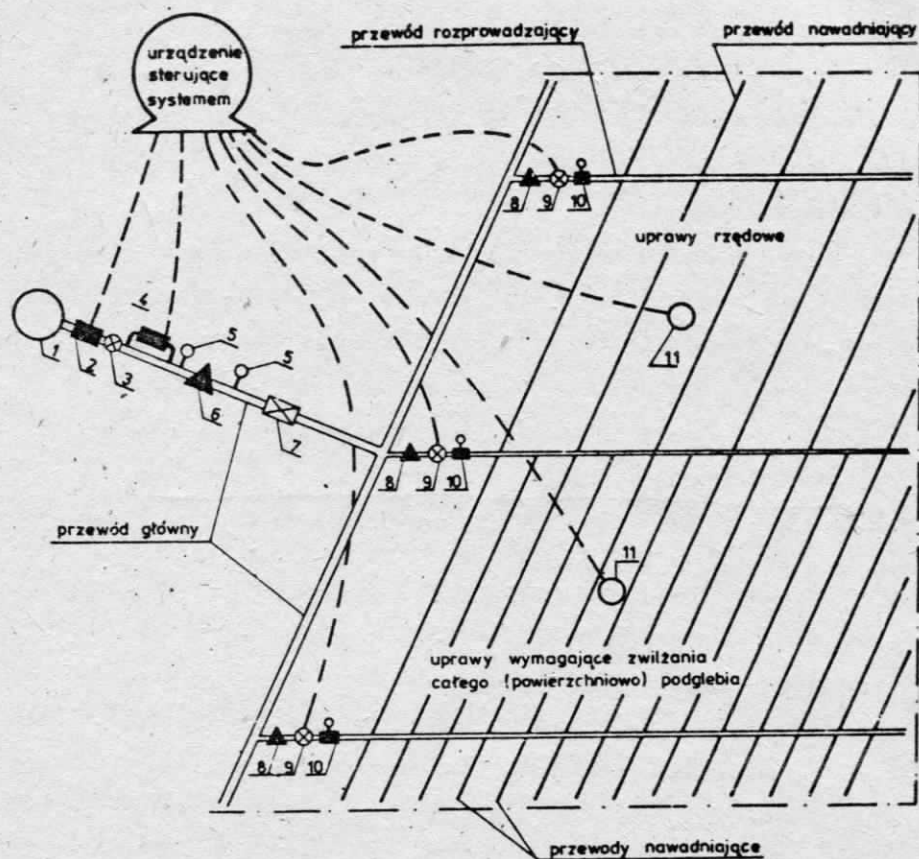
Zdaniem autora, SNW należy do systemów nawadniających które w warunkach naszej rozdrobnionej gospodarki rolnej znajdują w przyszłości duże zastosowanie. Zdecydują o tym głównie następujące czynniki:

- oszczędność w zużyciu wody, nawozów i energii,
- precyzja regulowania stosunków wodnych będąca podstawowym warunkiem maksymalizacji plonów,
- minimalizacja siły roboczej przy eksploatacji systemu.

#### 4. Podsumowanie

W wyniku ponad 120-letnich badań nad konstrukcją i działaniem nawodnień wgłębnych opracowano systemy, które znalazły zastosowanie na obiektach produkcyjnych.

Jakkolwiek w dalszym ciągu prowadzone są prace nad ich udoskonalaniem pod względem konstrukcyjnym, to większą jednak uwagę



Rys. 1 Podstawowe elementy systemu nawodnień wstępnych.

- 1-źródło wody
- 2-pompa
- 3-zawór zwrotny
- 4-dozownik nawozów
- 5-manometr
- 6-filtr wstępny
- 7-przepływomierz z zaworem głównym
- 8-filtr na przewodzie rozprowadzającym
- 9-zawór magnetyczny
- 10-regulator ciśnienia z manometrem
- 11-czujnik wilgotności gleby

przywiązuje się do optymalizacji wykorzystania urządzeń nawadniających. W tym celu dąży się do pełnej automatyzacji SNW.

Można przewidywać, że ze względu na wysoki współczynnik wykorzystania wody i nawozów, minimalny nakład siły roboczej i duży efekt produkcyjny, nawodnienia wstępne znajdują w Polsce szersze zastosowanie.

Należy jednocześnie nadmienić, że systemy nawodnień wstępnych stosuje się także w innych niż tylko zwilżających celach. Szeroko znane jest stosowanie SNW przy rozprowadzaniu wód ściekowych pozwalające na uzyskanie wysokiego stopnia ich oczyszczenia. W ostatnich latach sygnalizowane jest również wykorzystanie SNW przy rozsączkowaniu w glebie podgrzanych wód z elektrowni. Do realizacji tych celów stosuje się urządzenia nawadniające opracowane w I etapie ich rozwoju.

#### Literatura

- ASAE EP405, 1983 - Design, installation, and performance of trickle irrigation systems.  
Agricultural Engineers Yearbook of STANDARDS:507-510
- Bavel C.H.M., J. Ahmed, S.I. Bhuiyan, E.A. Hiler, A.G.Smajstria, 1973:  
Dynamic simulation of automated subsurface irrigation system. Trans. of the ASAE:1095-1099
- Braud H.J., Adams A.J., Brown R.T., Schmitz F.B., 1965-  
Subirrigation a new look at an old method.  
Louisiana Agriculture 8: 6-7
- Braud H.J., 1967 - Discharge of water through slits in polyethylene plastic pipe. Bul.No.615, Louisiana State Univ.,  
Agr. Exp. Sta; 1-31
- Covey W., 1917 - Subirrigation is profitable. Country gentlemen,  
82, July

- Davis S. , 1974 - History of drip irrigation. Agribusiness News 10/7/:1
- Davis K.R., W.F. Spencer, 1974 - Soil salinity distribution in drip and subsurface irrigated summer squash. Second Int. Drip Irrig. Cong. Proc., San Diego:358-363
- Dirksen Ch., 1978 - Transient and steady flow from subsurface line sources at constant hydraulic head in anisotropic soil. Trans. of the ASAE 21:913-919
- Gilley J.R., E.R. Allred, 1974 - Optimum lateral placement for subsurface irrigation systems. Second Int. Drip Irrig. Cong. Proc., San Diego : 234-239
- Green W.J., Green E.C., 1895 - Subirrigation in the greenhouse. Ohio Agr. Exp. St. Bull. no.61
- Hanson E.G., B.C.Williams, 1968 - Influence of subsurface irrigation on cotton yields and water use. Paper of the ASAE No.68-760, 12 s.
- Hanson E.G., T.C.Patterson, 1974 - Vegetable production and water-use efficiency by drip, sprinkler, subsurface, and furrow irrigation methods. Second Int. Drip Irrig. Cong. Proc., San Diego : 97-102
- Legostajew W.M., Chamrajew N.R., Okulić-Kozarin E.L., 1975- Issledovanije vnutripočviennogo poliva w Golodnoj Stepj. Mat.IX Kongresu Nawodnienj i Odwodnienj, Moskwa
- Marcilonek S., 1957 - Nawodnienie wgłębne warzyw. Roczn. Nauk Roln. t. 72-F: 365-413
- Mitchell W.H., Usherwood N.R., 1967 - A second look at subirrigation. Crops and Soils Magazine April-May: 9-11
- Müller A., 1869 - Über die wasserung der gartenwachse aus den untergrund. Landwirtschaftlichen versuchsstationen, 11 : 168-176
- Nelson S.D., S.Davis, 1974 - Soil salinity distribution in sprinkler and subsurface-irrigated citrus. Trans. of the ASAE: 140-143

- Nouse F.B., 1918 - Irrigation by means of underground porous pipe.  
Agr. Exp. St. Colorado, Bull.240:1-15
- Olbertz M.H., 1983 - Low pressure irrigation-new problems and solutions. ICID Bull. 1 : 1-12
- 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
- Ostromęcki J., 1973 - Podstawy melioracji nawadniających.  
PWRiL : 253-258
- Phene C.J., 1974 - High-frequency porous tube irrigation for water-nutrient management in humid regions.  
II Drip Irrig. Congr., San Diego :166-171
- 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 source in heterogeneous soils:I.Analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 : 268-272
- Pierzgalski E., 1983 - Problemy eksploatacji nawodnień wglębnych.  
Mat. Konf.: Usprawnienia w eksploatacji urządzeń melioracyjnych. Wrocław.
- Rame F.W., 1893 - Subirrigation in the greenhouse. West Wirginia Agr. Exp. St., Bull. no.33:255-270
- Sammis T.W., D.L.Weeks, E.G.Hanson, 1979 - Influence of irrigation methods on salt accumulation in row crops.  
Trans. of the ASAE 22:791-796
- Sammis T.W., 1980 - Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops.  
Agronomy Journal 72:701-704

- Sepaskhah A.R., S.A.Sichani, B.Bahrani, 1976 - Subsurface and furrow irrigation evaluation for bean production. Trans. of the ASAE 1089-1092
- Schroeder G., 1972 - Melioracje wodne w rolnictwie. Arkady :586-589
- Spencer A.P., 1916 - Subirrigation. Florida Univ. Tallahassee Agr. Ext. Div., Bull. no.5
- Stander W., 1979 - Technical description of the Stander sub-irrigation system. Typescript.
- Thomas A.W., Kruse E.G., Duke H.R., 1974 - Steady infiltration from line sources buried in soil. Trans. of the ASAE: 125-128
- Thomas A.W., H.R.Duke, D.W.Zachmann, E.G.Kruse, 1976 - Comparison of calculated and measured capillary potentials from line sources. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40:10-14
- Turnon D., 1975 - Sistema podpocviennogo orosenija s uvizhenijem za scet kapiljarnogo podjema. Issledovanija i vozmoznosti primjenjenija. Mat. IX Kongresu Nawodnienij i Odwodnienij, Moskwa
- Warrick A.W., Lomen D.O., 1974 - Linearized moisture flow for point, line, and strip sources. Second Int. Drip Irrig. Cong. Proc., San Diego:228-233
- Warrick A.W., Amoozegar-Fard, A.A., Lomen D.O., 1979 - Linearized moisture from line sources with water extraction. Trans. of the ASAE:548-553
- Wendt C.W., A.B.Onken, O.C.Wilke, 1972 - Subirrigation studies in the High and Rolling Plains of Texas. Proceedings of the National Conference on Managing Irrigated Agriculture to Improve Water Quality, Colorado : 157-171
- Whitney D.J., 1922 - Subirrigation problem solved. Pacific rural press.

- Whitney L.F., E.S.Pira, C.M.Vaziri, L.F.Michelson, 1966 - Water distribution from pressurized subsurface irrigation systems. Trans. of the ASAE:837-838
- Whitney L.F., K.M. Lo, 1968 - Plastic orifice inserts with plastic pipe. ASAE Paper 64-731
- Willardson L.S., 1974 - Seed germination response to subsurface irrigation depth. Second Int. Drip Irrig. Cong. Proc., San Diego : 178-182
- Fok Yu-Si, L.S.Willardson, 1971 - Subsurface irrigation system analysis and design. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE 97:449-454
- Zachmann D.W., A.W.Thomas, 1973 - A mathematical investigation of steady infiltration from line sources. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:495-499
- Zetzsche J.B., 1964 - Evaluation of subirrigation with plastic pipe. ASAE Paper 64-731
- Zetzsche J.B., 1966 - Subirrigation with plastic pipe. Agr. Eng. 47: 74-75