

KAZIMIERZ SŁOWIK, ZBIGNIEW KIELAK
Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach

NAWADNIANIE KROPELKOWE

Prace badawcze nad opracowaniem najbardziej racjonalnego systemu nawadniania roślin doprowadziły do rewolucji naukowo-technicznej w tej dziedzinie. Opracowany został i szeroko wprowadzony do praktyki, szczególnie ogrodniczej, tzw. system nawadniania kropelkowego lub kroplowego. Nawadnianie to znane jest w języku angielskim pod trzema nazwami: „trickle irrigation”, „drip irrigation” lub „daily flow”, w języku rosyjskim „kapielnoje oroszenie”, w języku hiszpańskim „riego por goteo”, w języku francuskim „gautte a gautte”, w języku niemieckim „Tropfbewässerung”, w języku włoskim „irrigazione a goccia”.

Sama idea stałego lub okresowego, punktowego doprowadzania wody do części systemu korzeniowego roślin nie jest nowością. Można śmiało powiedzieć, że prymitywne początki stosowania tego systemu nawadniania sięgają daleko w przeszłość. Na przykład w Azji Środkowej stosowano naczynia gliniane wypełnione wodą, skąd woda przesączała się do gleby dostarczając drzewom niezbędnej ilości wody dla prawidłowego wzrostu i owocowania.

Kilkuletnia praca w Meksyku i kilkumiesięczna w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej pierwszego autora oraz roczna praca w Anglii drugiego autora, jak i nasze doświadczenia w zakresie nawadniania kropelkowego pozwolą, mamy nadzieję, przybliżyć polskiemu czytelnikowi w niniejszym przeglądzie literatury tę najbardziej nowoczesną metodę nawadniania różnorodnych upraw.

Rys historyczny nawadniania kropelkowego

W literaturze światowej dotyczącej nawadniania kropelkowego podawane są sprzeczne daty wprowadzenia tego systemu nawadniania do praktyki. Niektórzy za prekursora systemu kropelkowego uważają Robeya, który w roku 1934 zastosował doświadczalnie porowate przewody do nawodnień [114]. Inne źródła [24, 105, 126] przypisują autorstwo Blassowi podając jednocześnie sprzeczne daty opracowania systemu dla praktyki. Black [12] w obszernej pracy przeglądowej o systemie nawadniania kropelkowego wskazuje, że za prekursorów tego systemu

nawadniania roślin mogą być uważani farmerzy australijscy. Zastosowali oni w latach trzydziestych w rzędach sadów brzoskwiniowych system metalowych, nacinanych i przenoszonych rur, skąd woda dostarczana była pod każde drzewo.

Bezsprzecznie największe zasługi w opracowaniu dla warunków polowych tego systemu nawadniania położył Blass w Izraelu. Początkowo z uwagi na wysokie koszty nawadnianie kropelkowe wykorzystywano na małych przestrzeniach, a szczególnie w warunkach szklarniowych [121]. Po raz pierwszy produkcyjnie w szklarni system nawadniania kropelkowego zastosowano w 1948 r. w Anglii [12, 126]. Dopiero wprowadzenie tanich, wysokiej jakości przewodów polietylenowych znacznie przyspieszyło szerokie zastosowanie tego systemu w warunkach polowych.

Gwałtowny rozwój nawadniania systemem kropelkowym na skalę produkcyjną zapoczątkowano dopiero w latach sześćdziesiątych w Izraelu. Jak podają źródła [114] z poziomu zerowego w 1960 r. już w 1974 r. w Izraelu nawadniano tym systemem około 6 000 ha. Również pod koniec lat sześćdziesiątych rozpoczęto wprowadzenie tego systemu do praktyki w Australii [12, 105].

W Stanach Zjednoczonych nawadnianie systemem kropelkowym dwóch pierwszych plantacji rozpoczęto w 1970 r. i już w 1972 nawadniano tym systemem około 4 000 ha [80]. Do 1974 r. zainstalowano go na powierzchni około 28 800 ha i przewidywano wówczas instalowanie tego systemu w przeciągu najbliższych 5 lat na dalszych 86 800 ha [61]. Według najnowszych danych [64] w 1976 r. w Stanach Zjednoczonych nawadniano systemem kropelkowym już ponad 75 000 ha różnorodnych upraw.

W Meksyku do 1974 r. nawadniano tym systemem 6 400 ha upraw [131] opierając się początkowo na wzorach izraelskich [149], a później w oparciu o własne oryginalne rozwiązania systemu [6].

Tak więc system nawadniania kropelkowego w warunkach polowych zapoczątkowany został w krajach o klimacie suchym. Nie oznacza to, że w rejonach o klimacie umiarkowanym, nawet ze znaczną ilością opadów atmosferycznych, system ten nie znalazł szerokiego zastosowania. Świadczy o tym duże zainteresowanie tym systemem zwłaszcza w państwach europejskich, ale także i w innych krajach.

We Włoszech i Anglii wprowadzenie systemu nawadniania kropelkowego w uprawach polowych przypada na przełom lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Do 1974 r. we Włoszech nawadniano tym systemem około 180—200 ha upraw sadowniczych, przede wszystkim plantacje winogron, sady cytrusowe, brzoskwiniowe i oliwkowe [57], a w Anglii około 1 000 ha różnorodnych upraw [64].

W połowie lat siedemdziesiątych zainteresowano się i rozpoczęto badania systemu kropelkowego w WRL [5, 41], NRD [15], BRL [33], ZSRR [88, 141].

W Polsce badania nad nawadnianiem kropelkowym zapoczątkowano w Instytucie Warzywnictwa, gdzie opracowano system mikrokapilar typu „spaghetti” do nawadniania upraw sadowniczych oraz w Instytucie Sadownictwa, w którym najpierw na mniejszą skalę w doświadczeniach wazonowych a następnie w sadzie wiśniowym w 1976 r. zastosowano ten system nawadniania. Jednocześnie Instytut Sadownictwa przy współpracy Politechniki Warszawskiej przystąpił do opracowania kroplomierza, pozwalającego na regulację wypływu wody oraz całego systemu przewodów polietylenowych do nawadniania kropelkowego w warunkach polowych. Wzory tego systemu nawadniania w całości wykonane w kraju przedstawiono na pokazie zorganizowanym w Instytucie Sadownictwa w październiku 1977 roku.

W roku 1978 w Instytucie Sadownictwa w Skierniewicach zorganizowano I Krajowe Sympozjum na temat Nawadniania Kropelkowego, na którym obok szeregu referatów z różnych ośrodków naukowych w kraju, także przeprowadzono pokaz różnorodnych sposobów rozwiązań urządzeń do nawadniania sadów tradycyjnych, jak i intensywnych [99].

Do chwili obecnej w piśmiennictwie polskim pojawiło się kilkanaście wzmianek; fragmentarycznych opracowań i publikacji dotyczących nawadniania kropelkowego [52, 53, 73, 77, 78, 89, 95, 96, 99, 108, 120, 130, 131, 132, 133, 134, 135].

Opis systemu kropelkowego

Podstawowa zasada nawadniania kropelkowego [80, 81] oparta jest na tym, że najlepsze wykorzystanie zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w glebie uzyskuje się przez zapobieganie deficytom wodnym utrzymując właściwe warunki wilgotnościowe gleby w obrębie części systemu korzeniowego. Woda podawana jest do gleby tym systemem w małych ilościach w formie kropel i pod niskim ciśnieniem utrzymując część gleby w wilgotności zbliżonej do połowej pojemności wodnej [12, 79].

W skład systemu nawadniania kropelkowego wchodzi następujące elementy składowe: ujęcie wody, magistrale główne, stanowisko kontrolno-pomiarowe, filtry i przewody boczne nawadniające z zainstalowanymi na nich kroplomierzami [105, 120].

W tym systemie nawadniania można wykorzystać wodę pochodzącą z różnych ujęć wodnych jak: wody powierzchniowe, studzienne, z sieci

wodociągowej i zbiorników umieszczonych na podwyższeniu. Typowy system nawadniania kropelkowego najczęściej pracuje przy niskich ciśnieniach od 0,5 do 1 atm.

Przewody główne (magistrale wodne) przeważnie umieszcza się pod ziemią, a przewody nawadniające z kropłomierzami na powierzchni lub podwiesza się na niedużej wysokości w rzędach nawadnianych roślin. Są to z reguły przewody wykonane z barwionego na czarno polietylenu, co uniemożliwia rozwój glonów w przewodach. Przewody nawadniające stosowane w systemie kropelkowym mają średnicę wewnętrzną zwykle od 12 do 32 mm [126]. Częściej stosuje się przewody o średnicy wewnętrznej od 12 do 18 mm.

Niezmiernie istotnym elementem składowym systemu kropelkowego są filtry [25, 63, 105]. Dotyczy to szczególnie wód powierzchniowych, które mogą zawierać zanieczyszczenia mechaniczne blokujące kropłomierze. Część z tych zanieczyszczeń o średnicy powyżej 75 mikronów może być usunięta w odstajalnikach wody. Zanieczyszczenia o mniejszej średnicy powinny być usunięte przez filtry piaskowe lub sitowe [126].

Stanowisko kontrolno-pomiarowe powinno posiadać: manometry, wodomierz, zbiornik nawozowy [2] jak również czujniki pomiarowe wilgotności gleby lub jej potencjału wodnego. Jest to bardzo istotna część systemu nawadniania kropelkowego, zapewniająca właściwą jego pracę.

Jednak najważniejszym elementem systemu kropelkowego jest kropłomierz podający wodę w formie kropel stale. Do chwili obecnej opracowano kilkadziesiąt rodzajów kropłomierzy, które można podzielić na kilka typów jak: a) kropłomierze w formie mikrokapilar, b) kropłomierze z gwintem współosiowe z przewodem lub nasadkowe, c) kropłomierze membranowe, d) porowate przewody nawadniające. Obok tych podstawowych typów kropłomierzy można spotkać i inne rozwiązania jak kropłomierze kulkowe z wkładką hydrofilną i wiele innych.

Kropłomierze w formie mikrokapilar są znane pod nazwą „spaghetti”. Są to mikrokapilary proste [81] lub zwinięte w formie spiral [28] o różnej długości i średnicy wewnętrznej najczęściej około 1 mm. Wydatek wody z tych kropłomierzy przy danym ciśnieniu zależy od długości mikrokapilar i może wynosić od 1 do kilkunastu litrów na godzinę. Długość mikrokapilar może wynosić od kilku centymetrów do 2 i więcej metrów w zależności od ciśnienia i porządanego wydatku wody [81, 138]. Mikrokapilary montuje się przez bezpośrednie wciśnięcie ich do przewodu nawadniającego [105, 126]. Z uwagi na częste zapychanie się mikrokapilar nie poleca się ich do stosowania w warunkach polowych. System ten najczęściej spotyka się w uprawach szklarniowych. Dużo lepszym rozwiązaniem tego typu kropłomierzy jest zastosowanie kapilar o średnicy wewnętrznej 2—3 mm zakończonych nasadką z row-

kiem. Nasadka ta spełnia rolę dławika ciśnienia wody dając wypływ w formie kropel [110].

W kropłomierzach z gwintem redukcję ciśnienia uzyskuje się przez przepływ wody kanalikiem o małej średnicy. Kanalik ten występuje pomiędzy trzpieniem a korpusem. Najczęściej spotyka się umieszczanie gwintów na trzpieniu. Wydatek wody w tego typu kropłomierzach reguluje się poprzez płytsze lub głębsze umieszczenie trzpienia zarówno w przypadku kropłomierzy współosiowych: Netafim, Dicoa [34, 103] jak i nasadkowych Access [1]. Są to kropłomierze o różnym wydatku wody najczęściej od 1,5 do 10 litrów na godzinę. Inną grupą tego samego typu kropłomierzy są końcówki, w których brak jest możliwości regulowania wypływu przez wkręcenie lub wykręcenie trzpienia. Różne wydatki wody uzyskuje się w tym przypadku przez wymianę trzpienia. Do najciekawszych rozwiązań z tej grupy kropłomierzy należą: Etern-matic [40] o wydajności od 4 do 8 litrów wody na godzinę, Key Clip [85] o wydatku od 2 do 4 litrów, Drip-Eze [35, 36] o wydatku od 4 do 10 litrów i wiele innych. W tej grupie spotyka się też kropłomierze mające w miarę stały wypływ wody w pewnym przedziale ciśnienia jak: Irrifrance [76] o wydajności 4 litry na godzinę czy Turbo-flush [147] o wydajności od 4 do 5 litrów na godzinę i inne.

Działanie kropłomierzy membranowych polega na redukcji ciśnienia wody dzięki zastosowanym membranom. Do najlepszych tego typu kropłomierzy należą końcówki: Sub'terrain [140] o wydatku od 4 do 16 litrów wody na godzinę, Cameron [23] o wydatku 4 litry na godzinę z możliwością wymiany wkładki (membrany) o innym wypływie, Key Emiteer [86] produkowany w Australii, Perma Rain [145] o wydatku w zależności od membrany 4, 8 lub 16 litrów na godzinę i wiele innych. Najbardziej skomplikowanym w budowie jest kropłomierz membranowy Bowsmith [144], który składa się z 9 elementów. W przypadku tego kropłomierzy są końcówki, w których brak jest możliwości regulowania regulacja wypływu wody.

Na uwagę zasługuje jeszcze system podwójnych porowatych przewodów, [9, 148]. W systemie tym woda doprowadzana jest do przewodu wewnętrznego, skąd przez drobne otwory przedostaje się do komory powstałej pomiędzy ścianą przewodu wewnętrznego i zewnętrznego. Uzyskuje się dzięki temu stałe ciśnienie wody na całej długości przewodu nawadniającego i równomierny jej wypływ. Jednak trwałość porowatych przewodów nawadniających jest mała.

Dystrybucja wody w glebie i system korzeniowy roślin przy nawadnianiu kropelkowym

Przy nawadnianiu kropelkowym woda nawilża tylko niewielką bryłę glebową, zabezpieczając stały dopływ wody do części systemu korzenio-

wego nawadnianych roślin [12, 25, 74, 79, 126, 151, 155]. Straty wody na parowanie powierzchniowe przy tym systemie są ograniczone do minimum. W młodych sadach systemem tym nawadnia się tylko od 1 do 2%, a w starszych sadach od 10 do 50% powierzchni gleby [81].

Teoretyczny model przemieszczania się wody w glebie od kroplomierzy opracowany został dopiero w 1971 r. [16, 18], a więc już po znacznym rozpowszechnieniu się w praktyce tego systemu nawadniania roślin. Teoretyczne badania zarówno polowe jak i laboratoryjne dają pełny obraz stosunków wodnych w glebie, przy tym systemie nawadniania.

Ciekawe badania dotyczące przemieszczania się wody od kroplomierzy i dystrybucji wilgotności w nawilżanej bryle glebowej przedstawione zostały przez Rotha [119]. Okazało się, że przy niższych wypływach szerokość nawilżanej bryły glebowej jest większa niż przy wypływach dużych. Jednocześnie stwierdzono, że dla tych samych objętości podawanej wody z kroplomierza obraz nawilżanej bryły glebowej pod kroplomierzem jest podobny bez względu na czas jej podawania. A zatem ruch wody w glebie doprowadzanej w formie kropel jest bardziej funkcją objętości wody i rodzaju gleby niż czasu jej wypływu z kroplomierza. Przy niskich dawkach wody kształt nawilżanej bryły glebowej jest zbliżony do kulistego. Przy dużych wypływach wody z kroplomierzy przesiąk wglębny przewyższa podsiąkanie boczne i nawilżana bryła glebowa przybiera kształt bardziej eliptyczny. Podobną dystrybucję wody w glebie w sadzie jabłoniowym uzyskali również inni autorzy [32, 92].

Punktowe doprowadzanie wody systemem kropelkowym tylko do części bryły glebowej powoduje zmiany w dystrybucji systemu korzeniowego roślin, szczególnie w warunkach klimatu suchego. Zasięg korzeni w tych warunkach jest prawie całkowicie ograniczony od części gleby systematycznie nawilżanej [12]. Natomiast w warunkach klimatu umiarkowanego system korzeniowy nawadnianych roślin nigdy nie zostanie ograniczony do nawilżanej bryły glebowej, jakkolwiek w tej części gleby nastąpi zwiększenie ilości drobnych korzeni włosnikowych absorbujących wodę.

Przeprowadzone badania wskazują, że wystarczy doprowadzać w sposób ciągły wodę do minimum 25% systemu korzeniowego roślin, aby zapewnić wystarczającą ilość wody dla prawidłowego wzrostu roślin [12, 81]. W przypadku młodych jabłoni, których 25% systemu korzeniowego utrzymywanego było w warunkach wilgotnej gleby zbliżonej do połowej pojemności wodnej a pozostałe 75% w glebie o wilgotności zbliżonej do punktu wędnięcia wykazano [11], że drzewa były w stanie pobrać aż 75% ilości wody pobranej przez drzewa, których cały system korzeniowy znajdował się w glebie o wilgotności zbliżonej do PPW.

W badaniach nad rozwojem systemu korzeniowego papryki [7]

stwierdzono wysoką koncentrację korzeni w warstwie gleby do 25 cm. Nawet przy podawaniu systemem kropelkowym wody o dużej zawartości soli w warstwie tej stwierdzono występowanie korzeni, gdy tymczasem przy innych metodach nawadniania papryki w wierzchniej warstwie gleby występowały one tylko sporadycznie. Podobny rozkład systemu korzeniowego stwierdzili i inni badacze [48]. Tak więc utrzymywanie właściwej wilgotności gleby tylko w części systemu korzeniowego roślin wystarcza dla prawidłowego wzrostu i ich plonowania [12, 80, 81]. Jednak zmiana w dystrybucji systemu korzeniowego roślin pod wpływem nawadniania kropelkowego powoduje, że ubytki zapasu wody w glebie po przerwaniu nawadniania są bardzo duże i rośliny, szczególnie w warunkach bardziej suchych, stają się uzależnione od stałego doprowadzania wody.

Przy intensywnym nawadnianiu roślin wieloletnich przejście z metod konwencjonalnych na nawadnianie kropelkowe może nawet wpłynąć ujemnie na ich wzrost i plonowanie w pierwszych latach wprowadzenia nowego systemu [60, 153].

Zużycie wody i potrzeby nawadniania

Potrzeby wodne dla systemu kropelkowego są znacznie mniejsze w porównaniu do nawadniania deszczownianego i bruzdowego [51]. Jest to wynikiem mniejszych strat na ewaporację i przenikanie wody poza system korzeniowy roślin, jak również mniejszą nawadnianą powierzchnię gleby [24, 81]. Generalnie przy systemach konwencjonalnych minimalne jednorazowe dawki wody na powierzchnię jednego hektara wynoszą średnio dla nawadniania deszczownianego 200—300 m³ [130], dla zalewowego 1200 m³ [37]. Są to duże ilości wody. Tymczasem oszczędność w zużyciu wody przy systemie nawadniania kropelkowego [2, 24, 81] umożliwia przy tej samej ilości wody nawadniać wielokrotnie większą powierzchnię upraw. Można przyjąć, że przy tej samej ilości wody jaką używa się przy nawadnianiu deszczownianym, można nawodnić systemem kropelkowym od 2 do 6 razy, a w przypadku młodych sadów nawet 20 razy większą powierzchnię. Przy ciągle zmniejszającej się ilości wody dla celów rolniczych nie pozostaje to bez znaczenia.

Ustalanie ilości wody podawanej roślinom systemem kropelkowym nie jest sprawą prostą. Najczęściej w literaturze światowej potrzeby nawadniania określa się na podstawie ewapotranspiracji [138] lub ewaporacji z wolnej powierzchni wodnej. Niektórzy autorzy odnoszą ewapotranspirację do ewaporacji w stosunku do całkowitej powierzchni przypadającej dla każdej rośliny [8, 12], lub w stosunku do powierzchni

odpowiadającej wielkości korony [4]. Inni natomiast opierają się tylko na wielkości parowania z wolnej powierzchni wody [10, 81]. Przyjmują oni, że dla pokrycia potrzeb wodnych roślin ilość podanej systemem kropelkowym wody powinna wynosić 75% parowania z wolnej powierzchni wodnej [81], lub odnoszą wielkość parowania do powierzchni przekroju pnia [14].

Innym zagadnieniem wiążącym się ściśle z ilością podawanej wody jest czas nawadniania. Niektórzy autorzy sugerują, że sprawnie działający system kropelkowy powinien pokrywać całkowicie potrzeby wodne roślin w ciągu 12—14 godzin pracy [13]. Inni uważają, że pokrycie 90% potrzeb wodnych roślin powinno być zabezpieczone w ciągu 6 godzin. Oczywiście nie są to bezwzględne zalecenia. Czas nawadniania roślin systemem kropelkowym jest uzależniony z jednej strony od dziennego zapotrzebowania roślin na wodę, z drugiej strony od wydajności stosowanych kropłomierzy. Pewne jest natomiast to, że czas podawania wody nie powinien być krótszy od 6—8 godzin [13]. Utrzymanie stałego niedużego wypływu wody w okresie, gdy brak jest opadów wydaje się najkorzystniejszym rozwiązaniem.

Obok wyżej wspomnianego sposobu oznaczania potrzeb nawadniania roślin przy systemie kropelkowym można wykorzystywać również tensjometrię [2, 12, 62]. Stosuje się je najczęściej przy systemach całkowicie zautomatyzowanych. W takiej sytuacji instaluje się najczęściej dwa tensjometry: jeden w pobliżu wylotu kropłomierza w celu włączania systemu i drugi w pewnej odległości od wylotu kropłomierza, na podstawie którego wyłącza się system. Jak podają niektórzy autorzy [12, 127] efektywność wykorzystania wody przy tym systemie jest bardzo wysoka.

Nawożenie poprzez system nawadniania kropelkowego

Stosując nawożenie poprzez system nawadniania kropelkowego nasuwa się pytanie, czy doprowadzanie wody ze składnikami pokarmowymi do części systemu korzeniowego roślin zapewnia właściwy poziom odżywiania roślin. Ciekawą pracę nad pobieraniem fosforu poprzez wyizolowany korzeń przedstawiono na Kongresie Nawozowym w Moskwie [129]. Stwierdzono, że podany radioaktywny fosfor występował we wszystkich nadziemnych częściach roślin oraz, że zastosowanie ciekłych form nawozów fosforowych znacznie zwiększa ich wykorzystanie. Istotny wpływ na pobieranie fosforu ma również pH roztworu nawozowego i jego stężenie [143]. Fosfor nieorganiczny podawany systemem kropelkowym ulega w glebach silnej adsorpcji i bardzo słabo lub wcale nie przemieszcza się od wylotu kropłomierza. Ciekawe badania ze stosowaniem fos-

foru organicznego w formie glicerofosforanu, który w glebie ulega rozkładowi do jonów ortofosforanowych [115] przedstawiono w San Diego [118]. Rolston i inni [118] wykazali, że ta forma fosforu znacznie lepiej przemieszcza się w glebie oraz może stanowić źródło fosforu dla roślin. W związku z tym fosforany organiczne mogą odgrywać poważną rolę przy nawożeniu poprzez system nawadniania kropelkowego. Przemieszczanie fosforu w glebie z obu form i jego pobieranie przedstawiają i inni autorzy [112, 113].

Mniej kłopotów występuje przy nawożeniu potasowym. Szybkość przemieszczania się potasu w glebie uzależniona jest od wielkości kompleksu sorpcyjnego oraz od wilgotności gleby [142]. W warunkach stałego nawilżania gleby systemem kropelkowym potas przemieszcza się w glebie z dostateczną szybkością i dociera do dużej, aktywnie adsorbującej części systemu korzeniowego roślin [56].

Przy nawożeniu azotem może występować różna jego dystrybucja w nawadnianej bryle glebowej w zależności od jego formy [12]. Forma azotanowa ma tendencję do akumulacji na krawędziach obszaru nawadnianego. Forma amonowa może gromadzić się w ilościach nawet toksycznych pod wylotami kroplomierzy. Jednak dalsze nawadnianie wodą niezawierającą azotu likwiduje ten poziom na skutek wymycia do warstw głębszych. Najbardziej równomierną dystrybucję azotu uzyskuje się przy stosowaniu mocznika.

Badania szklarniowe z rozdzielonym systemem korzeniowym wykazały, że doprowadzając azot tylko do części systemu korzeniowego następowało znaczne zwiększenie jego pobierania przez tę część [45] w stosunku do pobierania przez cały system korzeniowy. W podobnym doświadczeniu z jabłoniami nie stwierdzono tak zwiększonego pobierania w przypadku nawozu fosforowego dostarczanego tylko do części systemu korzeniowego [143].

Roztwór nawozowy może być wprowadzany do systemu nawadniania kropelkowego ze zbiornika nawozowego na drodze aktywnej lub pasywnej [82]. Oznacza to, że roztwór nawozowy wprowadzany jest do przepływającej wody w głównym przewodzie za pomocą odpowiedniej pompy dozującej lub woda do przewodów głównych skierowana jest poprzez hermetyczny zbiornik nawozowy. Z przeprowadzonych badań wynika, że system aktywny zapewnia właściwszą dystrybucję składników pokarmowych w przewodach nawadniających jak również daje mniej więcej równomierne stężenie wypływu składników przez wszystkie zainstalowane na przewodach kroplomierze [93].

Najczęściej nawożenie poprzez system nawadniania kropelkowego stosuje się w stężeniu 0,003 M. W celu uniknięcia wzajemnego strącania się składników pokarmowych nawożenia powinno się przeprowadzać

w cyklach 4-dniowych [12]. Pierwszego dnia można zastosować nawożenie azotanem potasu i azotanem wapnia, drugiego dnia nawożenie fosforowe w formie fosforanu potasu lub amonu, trzeciego dnia siarczanem magnezu, a ostatniego dnia proponowanego cyklu nawożenie mocznikiem i mikroelementami.

Aby uzyskać właściwą dystrybucję składników pokarmowych, system kropelkowy powinien spełniać przynajmniej następujące warunki [54, 55, 56]: każdy kroplomierz powinien posiadać taką samą wydajność wody; powinno się stosować nawozy całkowicie rozpuszczalne, nie powodujące korozji i zapychania systemu nawadniającego.

Wpływ nawadniania kropelkowego na wzrost i plonowanie roślin

Jak wspomniano powyżej nawadnianie kropelkowe zapewnia warunki optymalnego zaopatrzenia roślin w wodę i składniki pokarmowe [25, 105, 151]. Stworzenie takich warunków ma istotny wpływ na wzrost roślin i ich plonowanie [87, 136, 139].

W młodych sadach jabłoniowych pod wpływem nawadniania kropelkowego wykazano znaczny wzrost ogólnej ilości pędów i ich przyrostów [39]. W stosunku do kontrolnych roślin bez nawadniania ilość pędów i przyrosty zwiększyły się odpowiednio o 16 i 28%, a przekrój poprzeczny pni o 19%. Porównując nawadnianie kropelkowe z bruzdowym [32] w przypadku 3-letnich drzew wykazano ponad dwukrotny wzrost plonu przy nawadnianiu kropelkowym. Jednocześnie zostały zmniejszone w znacznym stopniu nakłady pracy, zredukowano nawożenie i zabiegi uprawowe.

W wielu publikacjach [32, 80, 120, 137, 150] podkreśla się znacznie większy wpływ nawadniania kropelkowego na wzrost i plonowanie roślin w porównaniu do klasycznych systemów nawadniania. Zwyżki plonów na przykład przy nawadnianiu kropelkowym wynoszą dla jabłoni 38%, dla pomidorów 70% w stosunku do nawadniania deszczownianego, dla ogórków dochodzą do 400% w porównaniu do nawadniania bruzdowego itd. [111].

Na podstawie dotychczasowej literatury światowej można przyjąć, że pod wpływem nawadniania kropelkowego można uzyskać zwyżki plonów średnio dla roślin sadowniczych od 20 do 50%, dla roślin warzywniczych od 50 do 100%, w przypadku pozostałych roślin od kilkunastu do kilkudziesięciu i więcej procent.

Do chwili obecnej badaniami nad wpływem nawadniania kropelkowego na wzrost i plonowanie objęto następujące gatunki roślin sadowniczych: jabłonie [11, 39, 45, 92], grusze [94, 122], śliwy [3], brzoskwinie

[27, 102, 153], morele [106], winogrona [22, 49, 91, 117], truskawki [79, 150], jeżyny [97], czarna porzeczka [75], maliny [75], oliwki [30], avocado [17, 62, 98, 156], drzewa cytrusowe [8, 26, 69] i inne [61, 64, 65, 131].

Z gatunków roślin warzywniczych nawadnianiem kropelkowym objęto: kapustę [20, 21], marchew [79], ogórki [67, 79, 123], sałatę [72], melony [29, 124], cebulę [68, 123], pieprz [7, 50, 125], pomidory [66, 107, 120, 123, 146] i inne gatunki warzyw.

Nawadniano systemem kropelkowym polowe rośliny rolnicze jak lucerna uprawiana na nasiona [152], rośliny zbożowe [44, 51, 70, 71, 109], bawełnę [19, 21], ziemniaki [128], trzcinę cukrową [38, 47, 122] i inne.

Nawadnianie kropelkowe jest również powszechnie stosowane w uprawach szklarniowych warzywniczych i kwiaciarskich [46, 104, 121, 154] jak i w szkółkach [61, 64, 127].

System nawadniania kropelkowego wykorzystuje się w uprawach leśnych takich jak parki leśne, szkółki [58, 59, 64, 104] trawniki przydomowe, pola golfowe itp. [61, 64].

Za najbardziej celowe wydaje się być stosowanie nawadniania kropelkowego w uprawach trwałych lub rzadko sadzonych. W związku z tym należy uwzględnić wprowadzenie systemu kropelkowego do nawadniania sadów i plantacji jagodowych, upraw roślin ozdobnych, w parkach oraz niektórych uprawach warzywniczych i tylko nielicznych rolniczych.

Zalety systemu kropelkowego

Najważniejszą zaletą systemu kropelkowego jest znaczna oszczędność wody na co zwraca uwagę wielu autorów [2, 32, 62, 64, 81, 90, 150, 151]. Dla przykładu w młodych sadach powierzchnia nawadniania może być zmniejszona do 10% [24] a nawet do 1—2% w sadach nowo posadzonych [81].

System nawadniania kropelkowego stwarza optymalne warunki wilgotności gleby dla prawidłowego wzrostu i plonowania roślin [24, 105, 151]. Należy podkreślić, że utrzymywanie w zasięgu systemu korzeniowego wilgotności zbliżonej do połowej pojemności wodnej daje możliwość utrzymywania większej koncentracji składników pokarmowych w roztworze glebowym. Daje to możliwość lepszego wykorzystania nawozów przez rośliny [56] oraz zapewnia stałe dostarczanie składników pokarmowych w poszczególnych fazach rozwojowych roślin [54, 105].

Nawadnianie kropelkowe przyczynia się do znacznej redukcji ilości zużywanych nawozów jak również zwiększa efektywność jego wykorzystania [2, 45, 64, 84].

Przy nawadnianiu kropelkowym istnieje możliwość wykorzystania wody o znacznej zawartości soli, co nie jest możliwe przy innych systemach nawadniania [2, 12, 32, 66, 81].

System kropelkowy umożliwia całkowitą automatyzację nawadniania. Można to uzyskać przez zainstalowanie odpowiednich czujników wilgotności gleby [12, 62]. Możliwość pełnej automatyzacji ogranicza w znacznym stopniu nakłady pracy i koszty z nimi związane. W krajach wysoce uprzemysłowionych uważa się to za jedną z najważniejszych zalet tego systemu nawadniania.

Rośliny nawadniane systemem kropelkowym nie podlegają tak częstym chorobom, jak to ma miejsce przy konwencjonalnych systemach nawadniania [52, 151, 156].

Możliwość zastosowania herbicydów poprzez system kropelkowy ogranicza nakłady pracy oraz daje oszczędności w ilości zużytych środków [105]. Ma to istotne znaczenie szczególnie w warunkach suchych, gdzie rozwój chwastów ograniczony jest tylko do nawilżanej powierzchni gleby.

System nawadniania kropelkowego jest bardzo użyteczny na wszelkiego rodzaju skłonach [126]. Eliminuje on całkowicie problem erozji występującej w przypadku innych metod nawadniania roślin.

Wady systemu kropelkowego i ich usuwanie

Najważniejszą wadą systemu kropelkowego jest zapychanie kroplomierzy zanieczyszczeniami znajdującymi się w wodzie oraz z powodu osadzania się w nich soli, głównie wapnia i żelaza. Prowadzi to do zmian wypływu wody jak również zablokowania kroplomierzy. Wytrącanie się soli występuje dosyć często przy stosowaniu wody o pH obojętnym lub zasadowych [55]. Usunięcie tych osadów jest możliwe przez wprowadzenie do systemu substancji o odczynie kwaśnym jak na przykład kwasu fosforowego [55], solnego [105] lub przez stosowanie nawozów o odczynie kwaśnym [55]. Trzeba jednak pamiętać, że wszystkie te substancje powodują korozję części żelaznych i aluminiowych. W podobny sposób obniżając pH wody można zapobiec wytrąceniom związków siarki [13]. Innym ze sposobów ochrony przewodów i kroplomierzy przed osadami soli wapnia i żelaza może być dodatek do podawanej wody kwaśnego fosforanu sodu [83]. Zastosowanie zaledwie 2 mg fosforanu sodu na litr stosowanej wody ochrania system przed oksydacją związków żelaza i wapnia [82]. Podobne działanie wykazują fosforany w formie chelatowej w ilości 3—5 mg na litr [13]. Zanieczyszczenia mechaniczne usuwa się przez stosowanie odpowiednich filtrów [13], które stanowią jedną z najważniejszych części składowych systemu kropelkowego [25, 63, 116].

Filtry bardzo poważnie obciążają koszt instalacji systemu nawadniania kropelkowego [105].

Często blokowanie kroplomierzy powodują bakterie siarkowe [42, 43]. Dodatek podchlorynu sodu ogranicza rozwój tych bakterii [100]. Również obniżenie pH wody hamuje rozwój bakterii siarkowych w przewodach nawadniających [43].

W związku z częstym zapychaniem się kroplomierzy najkorzystniej byłoby stosować kroplomierze samooczyszczające się lub takie, z których łatwo usunąć zanieczyszczenia. Wzór takiego kroplomierza został opracowany w Instytucie Sadownictwa przy współpracy z Politechniką Warszawską [99].

Nasze prace nad opracowaniem systemu nawadniania kropelkowego

Jak wspomniano powyżej pierwsze prace z systemem nawadniania kropelkowego w Instytucie Sadownictwa zapoczątkowano w 1976 r. W tym czasie został założony w sadzie wiśniowym na powierzchni około 0,9 ha, system kroplekowy z mikrokapilarami typu „Spaghetti”. Jednocześnie rozpoczęto laboratoryjne badania testowe kilkudziesięciu kroplomierzy najważniejszych firm zagranicznych. W badaniach testowych określano charakterystykę wypływu wody z kroplomierzy przy różnych ciśnieniach w granicach od 0,5 do 2,5 atm i możliwości jej regulacji. Testy te umożliwiły określenie wymogów jakim powinien odpowiadać kroplomierz polskiej konstrukcji. Został on skonstruowany w Zakładzie Agrotechniki Instytutu Sadownictwa przy współudziale Instytutu Chemii Organicznej Politechniki Warszawskiej.

Kroplomierz polski zbudowany jest z dwóch części: korpusu z gwintem wewnętrznym i gwintowanego trzpienia. Oba gwinty są ściśle dopasowane do siebie. Trzpień zakończony jest bolcem wchodzącym w gniazdo nasadki korpusu. U podstawy bolca znajduje się otwór. Woda z przewodu nawadniającego przedostaje się poprzez otwór w nasadce do komory pomiędzy trzpieniem i korpusem, a wydostaje się z kroplomierza przez otwór u podstawy bolca trzpienia. Wydatek wody z kroplomierza reguluje się poprzez wkręcenie trzpienia, którego bolec reguluje wypływ wody. Za pomocą tego kroplomierza istnieje możliwość podawania wody w szerokim zakresie od 0 do 20 litrów na godzinę. Może on pracować przy ciśnieniach od 0,2 do 3,0 atm. Charakteryzuje się niezawodnością w eksploatacji. Wypływ w czasie na skutek osadów soli może ulec zmianie, ale w znacznie mniejszym stopniu niż w innych znanych nam kroplomierzach. W przypadku opracowanego u nas kroplomierza istnieje możliwość łatwego jego oczyszczania przy zablokowaniu zanie-

czyszczeniami mechanicznymi. Wystarczy wkręcić trzpień do końca i zanieczyszczenia zostają usunięte. Jest to możliwe, ponieważ bolec trzpień jest tej samej długości, co nasadka korpusu. Całość wykonana jest z barwionego polietylenu.

Jednocześnie podjęto w kraju w Zakładach Chemicznych „Blachownia” w Kędzierzynie-Koźlu produkcję przewodów polietylenowych barwionych na czarno do nawadniania kropelkowego o średnicach zewnętrznych 16, 18, 21, 25 mm.

Zakład Agrotechniki Instytutu Sadownictwa z Zakładem Doświadczalnym Mechanizacji Ogrodnictwa opracował również niezmiernie istotną część składową systemu kropelkowego jaką jest filtr samooczyszczający się. Przeprowadzone badania w Zakładzie Agrotechniki Instytutu Sadownictwa doprowadziły do opracowania polskiego systemu nawadniania kropelkowego [135].

W oparciu o opracowany u nas kroplomierz zostało założone w 1977 roku doświadczenie na powierzchni ok. 0,5 ha sadu jabłoniowego. W doświadczeniu tym przeprowadza się badania porównawcze polskiego kroplomierza z uznawanym za jeden z najlepszych kroplomierzy produkowanych przez firmę Cameron Irrigation Co Ltd w Anglii.

W 1978 r. założono podobne doświadczenie w sadzie produkcyjnym w SZD Dąbrowice na powierzchni ponad 7 ha. Oprócz tego rozpoczęto etap wdrażania do produkcji urządzeń do nawadniania kropelkowego produkcji polskiej i VIII 1978 zainstalowano już na powierzchni ponad 50 ha.

Kroplomierz SK-1 opracowany przez Instytut Sadownictwa produkowany jest przez Spółdzielnię Rzemieślniczą Wielobranżową „Postęp” w Grójcu.

LITERATURA

1. Access Dripper Irrigation System, Access Crick, Northampton, Anglia — prospekt.
2. Aljibury F.: *The Blue Anchor*, vol. 50, No 1, 32—35, 1973.
3. Aljibury F., Gerdts M., Lange A., Huntamer J., Leavitt G.: *Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr. San Diego*, 497—502, 1974.
4. Aljibury F., Marsh A. W., Huntamer J.: *Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego*, 341—345, 1974.
5. Balogh J., Börzsonyi A., Laászlo E., Tot'h G.: *Acseppenkénti Öntözés magyarországon. Vizügyi Dokumentációs és Tájékoztató Iroda, Budapest*, 207, 1975.
6. Banda E. N., Siurob H. E.: *Report 12 at VIII-th Congress of ICID, Question 28, India*, 1972.
7. Bernstein L., Francois L. E.: *Soil Sci.* vol. 115, 73—86, 1973.
8. Bester D. H., Lötter D. C., Veldman G. H.: *Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congress, San Diego*, 58—64, 1974.
9. *Bi-wall, Drip Irrigation Naws*, vol. 5, No 2, 1976.
10. Black J. D. F.: *Publ. Dep. Agric. Vict., H 191*, pp 23, 1971.
11. Black J. D. F., West D. W.: *Proc. 2nd int. Drip. Irrig. Congr., San Diego*, 432—433, 1974.
12. Black J. D. F.: *Horticultural Abstracts*, vol. 46, No 1, 1—7 1976.
13. Black J. D. F.: *Horticultural Abstracts*, vol. 46, No 2, 69—74, 1976.
14. Black J. D. F., Mitchell P. D., Newgreen P. N.: *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* vol. 17, 342—345, 1978.
15. Blasse W., Conrad Ch., Müller G., Jarmatz B.: *Gartenbau*, vol. 24, No 3, 1977.
16. Brandt A., Bresler E., Diner N., Ben-Asher J., Heller J., Goldberg D.: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol. 35, 675—682, 1971.
17. Branson R. L., Gustafson C. D., Marsh A. W., Davis S., Strohmman R.A.: *Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego*, 364—367, 1974.
18. Bresler E., Heller J., Diner N., Ben-Asher J., Brandt A., Goldberg D.: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol. 35, 683—689, 1971.
19. Bucks D, A., Erie L. J., French O. F.: *Progressive Agriculture in Arizona*, vol. XXV, No 4, 13—16, 1973.
20. Bucks D. A., Erie L. J., French O. F.: *Agron. J.* vol. 66, No 1, 53—57, 1974.
21. Bucks D. A., Erie L. J., French O. F.: *Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego*, 351—356, 1974.
22. Bucks D. A., Erie L. J., Nakavama F. S., French O. F.: *Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego*, 503—507, 1974.
23. *Cameron Irrigation Systems and Sprinkler Applicances*, Cameron Irrigation Company, Anglia — prospekt.
24. Celestre P.: *Iter. Water Erosion Symposium, Praha, Proc. II*, 213—256, 1970.
25. Chapin R. D.: *11-th National Agricultural Conference, San Antonio*, s. 9, 1973.
26. Cole P. J., Till M. R.: *Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Giego*, 521—526, 1974.

27. Coston D. C., Ponder H. G., Kenworthy A. L.: Soil Sci. and Plant Analysis, vol. 9/3, 187—191, 1978.
28. Csepegtető öntőés pemüplasten csövekkel, Pemü Metalloglobus, Węgry — prospekt.
28. Csepegtető öntözés pemüplasten csövekkel, Pemü Metalloglobus, Węgry — pro-
30. Dan C.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 491—496, 1974.
31. Davis S., Pugh W. J.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 109—114, 1974.
32. De Remer E. D.: World Irrigation, vol. XX, No 6, 14—16, 1970.
33. Doczew D.: Owoszczarstwo, V 54, No 6, 7—12, 1975.
34. Drip Irrigation Corporation of America, Dicoa, USA — prospekt.
35. Drip-Eze. Controlled water emission systems distributed by Reed Irrigation International, USA — prospekt.
36. Drip-Eze. Controlled water emission systems distributed by Reed Irrigation International, USA — katalog.
37. Dzieżyc J.: Nawadnianie Roślin, PWRiL, Warszawa, s. 579, 1974.
38. Ekerm P. C.: Water Resources Seminar, Series No 4, Water Resources Research Center, University of Hawaii, Honolulu, 1974.
39. Elfving D. C.: Horticultural Abstracts, vol. 47, 5210, 1977.
40. Etern-matic, Ids, Irri-Drip Systems Inc. USA — prospekt.
41. Ferenyi K.: A csseppenkénti öntözés külföldi gyakorlata, Budapest, Vizdok 152, 1975.
42. Ford H. W., Tucker D. P. H.: Proc. 2nd int. Drip. Irrig. Congr., San Diego. 212—214, 1974.
43. Ford H. W.: Hort.Sci., vol. 11, 133—134, 1976.
44. Freeburg R. S., Cotter D. J., Urquhart N. S.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 265—270, 1974.
45. Frith G. J. T., Nichols D. G.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 434—436, 1974.
46. Furuta T., Branson R., Jones W. C. Strohman R. Mock T., Ramadan I.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 155—158, 1974.
47. Gerarg C. J.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 329—331, 1974.
48. Goldberg D., Gornat B., Bar Y.: J. Amer. Soc. hort. Sci. vol. 96, 645—648, 1971.
49. Goldberg D., Rinot M., Karu N.: Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. vol. 35, 127—130. 1971.
50. Goldberg D., Shumeli M.: Hort. Sci. vol. 6, 559—562, 1971.
50. Goldberg D., Shmueli M.: Hort.Sci. vol. 6, 559—562, 1971.
51. Goldberg D., Shmueli M.: Hort.Sci., vol. 6, 565—567, 1971. nictwo (2), 141—151, 1976.
53. Grabarczyk S.: Zesz. Nauk ATR, No 49, Rolnictwo (4), 13—19, 1977.
54. Greeff P. F.: The Deciduous Fruit Grower, vol. 25, 213—217, 1975.
55. Greeff P. F.: The Deciduous Fruit Grower, vol. 25, 240—245, 1975.
56. Grobbelaar H. L., Laurens F.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 411—415, 1974.
57. Grossi P.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 46—51, 1974.
58. Grossi P.: Monti e Boschi, vol. XXV, No 4, 23—31, 1974.
59. Grossi P.: Monti e Boschi, vol. XXVII, No 3, 9—15, 1976.
60. Gustafson C. D., Marsh A. W.: Crops nad Soils, vol. 23. No 6, 1971.

61. Gustafson C. D., Marsh A. W., Branson R. L., Davis S.: Proc 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 17—20, 1974.
62. Gustafson C. D., Marsh A. W., Branson R. L., Davis S.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 443—445, 1974.
63. Gustafson C. D.: Western Landscaping News, vol. 14, No 7, 15—19, 1974.
64. Gustafson C. D.: Irrigation Journal, vol. 23, No 3, 1976.
65. Gustafson C. D.: Summary of 1974, 1975 and 1976 (and est. 1981) drip (trickle) irrigation survey worldwide, 1977 (dane niepublikowane).
66. Hall B. J.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 480—486, 1974.
67. Hall B. J.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 486—490, 1974.
68. Hanson E.G., Patterson T. C.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 97—102, 1974.
69. Harrison D. S., Myers J. M.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 33—37, 1974.
70. Hiler E. A., Howell T.A.: American Society of Agricultural Engineers Paper No 72—744, 1972.
71. Hiler E. A., Howell T. A.: Transactions of the American Society of Agricultural Engineering, vol. 16, No 4, 799—803, 1973.
72. Hoffman G. J., Rawlins S. L., Oster J. D., Merrill S. D.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 372—375, 1974.
73. Hołubowicz T.: Ogródnictwo, No 7, 172—175, 1977.
74. Howell T. A., Hiler E. A.: American Society of Agricultural Engineers Paper No 72—221, 1972.
75. Ingram J.: Horticultural Abstracts., vol. 46, 11112, 1976.
76. Irrifrance goutte a goutte, Edition Irrifrance, 76—1711, Francja — prospekt.
77. Jeznach J.: Ogródnictwo, No 2, 36—38, 1978.
78. Jeznach J.: Projektowanie systemów nawodnień kropelowych. Inst. Melioracji Rolnych i Leśnych SGGW-AR, Warszawa, s. 85, maszynopis, 1978.
79. Jonas S., Rapp E.: Agriculture Bulletin, University of Alberta, No 23, 15—19, 1974.
80. Kenworthy A. L.: Amer. Fruit Grower, vol. 92, No 4, 1972.
81. Kenworthy A. L.: Farm Science, Michigan State University, Agricultural Experiment Station East Lansing, Research Report No 165, s. 19, 1972.
82. Kenworthy A. L.: Farm Science, Michigan State University, Agricultural Experiment Station East Lansing, Research Report No 248, s. 7, 1974.
83. Kenworthy A. L., Kesner C.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 275—280, 1974.
84. Kenworthy A.L.: Amer. Fruit Grower, vol. 95, No 11, 1975.
85. Key Clip Tru-rain irrigation. Implex plastic industries PTY, Ltd, Australia — prospekt.
86. Key Emitter. Tru-rain irrigation. Implex plastic industries PTY, Ltd, Australia — prospekt.
87. Kielak Z., Słowik K.: Prace Inst. Sad. (w druku), 1978.
88. Krakowiec W. M.: Gidrotech. i Melior. No 8, 114—116, 1976.
89. Krokowski A.: O.W.K. No 3, 14, 1974.
90. Kuykendall J. R., Rodney D. R.: Amer. Fruit Grower, vol. 93, No 4, 1973.
91. Lange A., Aljibury F., Fischer B., Humprey. W., Otto H.: Proc. 2nd int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 422—424, 1974.

92. Levin I., Assaf R., Bravdo B.: Proc 2nd. int. Drip Irrig. Congr. San Diego, 252—257, 1974.
93. Lindsey K. E., New L. L.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 400—404, 1974.
94. Lombard P. B.: Oregon State University, Special Report 412, 1974.
95. Majewski K.: Wiad. Melior. i Łąkarskie No 1, 21—25, 1973.
96. Majewski K.: Wiad. Melior. i Łąkarskie No 8—9, 236—239, 1975.
97. Martin L. W., Shearer M. N., Kangas K. F.: Oregon State University, Special Report 412, 1974.
98. Marsh A. W., Gustafson C. D., Davis S., Branson R. L., Strohmman R.A.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 346—350, 1974.
99. Materiały I-go Krajowego Sympozjum na temat Nawadniania kropelkowego, 5 października, Skierniewice, 1978.
100. McElhoe B. A., Hilton H. W.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 215—220, 1974.
101. Mchdizadeh P., Tamaddoni - Johromi S.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 462—468, 1974.
102. Mitchell P. D., Black J. D. F.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 452—455, 1974.
103. Netafim Drip Irrigation Systems, Drip Irrigation International, Izrael — prospekt.
104. New L., Roberts R.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 159—164, 1974.
105. Niestierowa G. S., Zann I. S., Wiejeman E. A.: Nawadnianie kropelowe, CBRResOś., Infor. IMUZ Warszawa-Falenty, s. 74, 1975.
106. Nottage I. L. N.Z.J.: Agric. vol. 118, No 4, 1969.
107. Noyola F. T.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 508—511, 1974.
108. Ostromęcki J.: Wiadomości I.M.U.Z. t. XIII (3), 271—316, 1978.
109. Phene C. J.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 166—171, 1974.
110. Pioniers in drip irrigation. Chapin Watermatics Inc. USA — prospekt.
111. Potential of fertilizing by drip explored by Froser, California Grape Grower, No 7, 10, 1974.
112. Rauschkolb R. S., Rolston D. E., Miller R. J., Carlton A. B., Buran R.G.: Soil Sci. Soc. Amer. J. vol. 40, 68—72, 1976.
113. Rauschkolb R. S., Rolston D. E., Miller R. J., Carlton A. B., Buran R. G.: California Agriculture, vol. 30, No 5, 8—10, 1976.
114. Rawitz E., Hillel D.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 23—28, 1974.
115. Rogers H. T., Pearson R. W., Pierre W. H.: Soil Sci Soc. Amer. Proc. vol. 5, 285—291, 1940.
116. Rogers H. T.: Amer. Fruit Grower, vol. 94, No 6, 17—18, 1974.
117. Read A. L., Pietsch M. F., and Matheson W. E.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 382—387, 1974.
118. Rolston D. E., Rauschkolb R. S., Hoffman D. L.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 416—421, 1974.
119. Roth R. L.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 246—251, 1974.
120. Rzekanowski Cz.: Ocena przydatności niektórych kropelomierzy i ich zastosowanie do nawadniania kropelkowego pomidorów. Praca doktorska, ART — Bydgoszcz, s. 93, 1978.

121. Salter P. J.: *J. Hort. Sci.* vol. 32, 214—225, 1957.
122. Shearer M. N., Martin L. W., Lombard P. B., Mellenthin W. M.: *Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego*, 38—43, 1974.
123. Shmueli M., Goldberg D.: *Hort.Sci.*, vol. 6, No 6, 1971.
124. Shmueli M., Goldberg D.: *Hort.Sci.*, vol. 6, No 6, 557—559, 1971.
125. Shmueli M., Goldberg D.: *Hort.Sci.*, vol. 7, 241—243, 1972.
126. Shoji K.: *Scientific American*, vol. 237, No 5, 62—68, 1977.
127. Siebenthaler J. K.: *Irrigation J.* vol. 25, No 3, 32—33, 1975.
128. Singh N. T., Grewal S. S., Josan A. S.: *Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego*, 515—520, 1974.
129. Sjemín W. S.: VIII Międzynarodnyj Kongress po Mineralnym Udobrienijam (Moskwa). *Dokłady Sowietkich Uczestników Kongressa, część II*, 227—233, 1976.
130. Słowik K.: *Deszczowanie roślin sadowniczych. PWRiL, W-wa*, 1973.
131. Słowik K.: *XIX-th International Horticultural Congress (W-wa)*, 335—342, 1974.
132. Słowik K.: *Konferencja: Racjonalizacja, specjalizacja i kooperacja w ogrodnictwie, 4 i 5 X, Końskowola*, 1976.
133. Słowik K.: *O kropelki dla ogrodnictwa (maszynopis) 1977*.
134. Słowik K.: *Sad Nowoczesny, z. 6*, 7—10, 1978.
135. Słowik K.: *Polish drip irrigation system (maszynopis). Seminarium Bagdad, February, 1979*.
136. Słowik K., Kielak Z., Słowik B.: *Simpozjum po „Oroszeniu płodowych rastienij” 26—27 IX, Marquardt*, 1978.
137. Smith E.: *J. Agric. Victoria*, vol. 67, 114—115, 1969.
138. Stevenson D. S.: *Soil Science Canada Agriculture Research Station Summerland, B.C.* pp. 17, 1973.
139. Stolzy L. H., Słowik K.: *Agriculture in Semi — Arid Environments*, Edited by Cannell G.H., Hall A.E. and Lawton H.W. Springer — Verlag (w druku) 1978.
140. *Subterrain irrigation Co USA — prospekt*.
141. Szewczenko A. A., Kusznirenko E. F., Zobiensk'o M. M.: *Gidrotechnika i Melioracija*, 2, 51—55, 1977.
142. Süzcs E.: *VIII International Fertilization Congress, Moscow, Part of foreign participants, vol. I, aprt. II*, 226—233, 1976.
143. Taylor B. K., Goubbran F. G.: *Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego*, 395—399, 1974.
144. *The easiest irrigation since rain itself. Bowsmith Irrigation Products Inc. USA — prospekt*.
145. *The ultimate in irrigation, Perma Rain irrigation Inc. USA — prospekt*.
146. Tscheschke P., Alfaro J. F., Keller J., Hanks R. J.: *Soil Sci.* vol. 117, No 4, 228—231, 1974.
147. *Turbo-flush manufactured and distributed by Tex-Ag. Co, Inc, USA — prospekt*.
148. *Twin-wall Hose, Chapin watermatics Inc. USA — prospekt*.
149. Venezuela Ruiz T.: *Memorandum Tecnico No 296, Mexico*, 1971.
150. Voth V. *Proc. of Drip Irrig. Seminar, Escondido High School, Escondido, California*, 17—18, 1970.
151. Werminghausen B.: *Erwerbsobstbau 18 H.G.* 87—88, 1976.
152. Willardson L. S., Hageman R., Marsh A. W.: *Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego*, 172—177, 1974.

153. Willoughby P., Cockroft B.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 439—442, 1974.
154. Wolff P.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 71—76, 1974.
155. Wu J. P., Gitlin H. M.: Cooperative Extension Service, University of Hawaii, No 10, 1972.
156. Zentmyer G. A., Guillement F. B., Johnson E. L. V.: Proc. 2nd. int. Drip Irrig. Congr., San Diego, 512—514, 1974.