



## NAVODNJAVANJE

Prof.. dr. sc. Davor Romić

## **1. UVOD**

Navodnjavanje je u osnovi uzgojna mjera u biljnoj proizvodnji kojom se tlu dodaju one količine vode potrebne za optimalan rast i razvoj biljke. S obzirom na potrebe i mogućnosti u Hrvatskoj su navodnjavanjem obuhvaćene male površine. Međutim, uzgoj povrća je, posebno u priobalnom dijelu, gotovo neostvariv bez navodnjavanja. Naročito je to izraženo u ljetnim rokovima sjetve odnosno sadnje pri uzgoju povrća. Navodnjavanje povrća koje se uzgaja u zaštićenom prostoru je, zbog specifičnih uvjeta uzgoja, posebna cjelina te zbog ograničenog prostora neće biti temom u ovom poglavlju.

Navodnjavanje je složena i opširna znanstvena disciplina, a namjena je ovog poglavlja ukazati na njegov značaj kao gotovo neizostavne mjere pri uzgoju povrća. Zainteresiranom čitatelju moguće je preporučiti opširniju kvalitetnu i dostupnu literaturu o primjeni navodnjavanja u poljoprivredi:

- Priručnici za hidrotehničke melioracije, Kolo II Navodnjavanje,
- Knjiga "Navodnjavanje" (Tomić, 1988).

Da bi zadovoljili potrebe korisnika ove knjige, bilo studenta ili proizvođača, aktualna problematika navodnjavanja pri uzgoju povrća sažeta je u dvije cjeline:

- neke mjere gospodarenja pri navodnjavanju kišenjem i lokaliziranom navodnjavanju i
- kakvoća vode za navodnjavanje.

Metode navodnjavanja kišenjem i lokalizirano navodnjavanja jedine su metode koje se koriste u našim uvjetima. Svaka od njih prema svojim specifičnostima traži i posebne mjere gospodarenja, na neke od njih će se pokušati ukazano u ovom poglavlju. Korištenje zaslanjene i/ili alkalizirane vode za navodnjavanje, što je često u priobalnom dijelu Hrvatske, može uzrokovati i kratkoročne i dugotrajne štetne posljedice. Zato su istaknuti osnovni parametri kakvoće vode potrebni za ispravno gospodarenje sustavom za navodnjavanje.

## **2. SUSTAVI NAVODNJAVANJA**

Brojni načini navodnjavanja koji su se razvili tijekom vremena mogu se svrstati u četiri metode:

- površinsko navodnjavanje,
- podzemno navodnjavanje,
- navodnjavanje kišenjem,
- lokalizirano navodnjavanje.

Površinsko navodnjavanje najčešće je primjenjivana metoda navodnjavanja u svjetskim razmjerima. Gotovo 60% navodnjavanih površina primjenjuje ovu metodu (Pereira i Trout, 1999). Glavna karakteristika ovog navodnjavanja je da voda u tankom sloju stagnira ili teče po površini tla, te infiltrirajući se u tlo do dubine razvoja korijenovog sustava osigurava vodu za njen normalan rast i razvoj. Voda se do navodnjavane površine dovodi najčešće gravitacijom, ali je moguće i dovođenje pod tlakom.

Podzemno navodnjavanje ili subirigacija je metoda gdje se voda dovodi otvorenim kanalima i/ili podzemnim cijevima, te infiltrirajući se u tlo i dizanjem uslijed kapilarnih sila osigurava vodu u zoni rizosfere.

Navodnjavanje kišenjem je metoda koja se počela uvoditi s razvojem učinkovitih strojeva i crpki, te rasprskivača, početkom prošlog stoljeća. Ova naprednija tehnička oprema omogućila je dovođenje vode na navodnjavanu površinu simulirajući prirodnu kišu. Voda je u sustavu kišenja pod tlakom te izlazeći kroz mlaznicu prska tlo i/ili biljke.

Lokalizirano navodnjavanje je metoda kojom se voda pod manjim tlakom dovodi na poljoprivrednu površinu gdje se vlaži samo jedan dio ukupne površine. Vlaži se samo mjesto gdje se razvija glavna masa korijena. Najviše se koristi u područjima gdje su zalihe vode za navodnjavanje ograničene.

Unutar navedene četiri metode ima više načina i sustava navodnjavanja. Površinsko navodnjavanje se, kao najstarija metoda, ali i zbog specifičnih zahtjeva kulture (npr. riže), u svjetskim razmjerima najčešće primjenjuje. Međutim, u poljoprivrednoj praksi razvijenih zemalja češće se primjenjuju načini i sustavi kišenja i lokaliziranog navodnjavanja. Ove dvije metode uglavnom se primjenjuju i u našoj poljoprivrednoj praksi, te će zato neki dijelovi biti detaljnije opisani u ovom radu.

## 2.1 Navodnjavanje kišenjem

Navodnjavanje kišenjem počinje se primjenjivati nakon otkrića parnog stroja, a svoju pravu ekspanziju doživljava s razvojem rasprskivača i laganih čeličnih cijevi s brzim spojama. S poboljšanjem izvedbi rasprskivača i aluminijskih cijevi, te povećanjem učinkovitosti crpnih postrojenja polovicom prošlog stoljeća, smanjili su se troškovi rada, a povećale mogućnosti primjene navodnjavanja kišenjem. Šezdesetih godina došlo je do daljnjih poboljšanja uvođenjem samohodnih uređaja za navodnjavanje. Naravno da su slijedila daljnja poboljšanja i inovacije sa željom smanjenja utroška ljudskog rada i povećanja učinkovitosti načina i sustava prilagođavajući se širokom rasponu tipova tala, topografiji i različitim usjevima. Danas se unutar navodnjavanja kišenjem najviše radi na mehaniziranju i automatizaciji, uključujući kompjutorsko praćenje i kontrolu cijelog sustava.

Postoji veliki broj načina i sustava kišenja, ali svima su zajednički sljedeći osnovni dijelovi:

- *Crpka* koja crpi vodu iz izvora, kao što je akumulacija, bušotina, kanal ili vodotok, te je pod potrebnim tlakom uvodi u sustav za navodnjavanje. Pokreće je motor s unutrašnjim sagorijevanjem ili elektromotor. Crpka nije potrebna ukoliko je voda u izvorištu pod tlakom.
- *Usisni cjevovod* Kojim se voda dovodi od izvora do crpke.
- *Glavni cjevovod* kroz koji se voda potiskuje od crpke u razvodne cijevi. Kod stabilnih sustava glavni cjevovod se najčešće ugrađuje pod površinu tla, a prijenosni sustavi omogućavaju premještanje cjevovoda s jedne površine na drugu. Ukopani cjevovodi obično su izrađeni od čeličnih, azbestno-cementnih ili plastičnih materijala. Na velikim površinama glavni cjevovod se još grana u jedan ili više cjevovoda koji imaju istu zadaću dovoda vode do razvodnih cijevi.
- *Razvodne cijevi ili laterali* dovode vodu iz glavnog cjevovoda do rasprskivača. Mogu biti prijenosni ili stabilni, a izrađeni su od materijala sličnih onima za glavni cjevovod, samo su manjeg promjera. Kod samohodnih sustava, razvodne cijevi pokreću se tijekom navodnjavanja.
- *Rasprskivači* raspršuju vodu po površini tla, uz osnovni uvjet ujednačenog prekrivanja.

Navodnjavanje kišenjem može se, prema položaju rasprskivača, razvrstati u dvije skupine: *stabilni i pokretni*. U prvima rasprskivači tijekom navodnjavanja ostaju u stalnom položaju, a kod pokretnih rasprskivači rade dok se laterali pomiču kružno ili pravolinijski. Stabilni sustavi mogu biti potpuno fiksni, ali ima i onih koji se premiještaju između navodnjavanja, dakle polustabilni ili prijenosni, bilo ručno ili uz pomoć motora.

### *Prilagodba sustava*

Postoje različite izvedbe rasprskivača pogodnih za navodnjavanje velikog broja kultura i prilagodljivih većini tipova tala. Intenzitet navodnjavanja kod stabilnog načina može biti vrlo mali, i do  $3 \text{ mm h}^{-1}$ , čime se primjenjivost sustava širi i na glinovita tla male infiltracijske sposobnosti. Svakako je vrlo važno odabrati sustav navodnjavanja kišenjem pogodan za dane uvjete. Kada se kulture plitkog korijena uzgajaju na tlu malog kapaciteta za vodu, tada je potrebno učestalo navodnjavanje malog intenziteta. Za takve su uvjete pogodni i fiksni i pokretni sustavi. U povrćarskoj proizvodnji je to vrlo čest slučaj kod uzgoja presadnica. Fiksni su sustavi oblikovani i za zaštitu od mraza i smrzavanja, za odgodu cvatnje ili hlađenje usjeva.

Rasprskivači se mogu prilagoditi većini klimatskih uvjeta. Ograničenja postoje pri jakom vjetru, jer je tada raspodjela vode neujednačena, povećavaju se gubici evaporacijom, a naročito uz visoku temperaturu i nisku vlažnost zraka. Usprkos tome što je kišenje prilagodljivo i većini topografskih uvjeta, i velike visinske razlike mogu uzrokovati neujednačenu raspodjelu vode.

### *Rasprskivači*

Rasprskivač je najvažniji dio sustava jer o njemu ovisi i učinkovitost cijelog sustava (slika 1). Glavni dijelovi rasprskivača su glava i mlaznica. Rasprskivač izbacuje vodu pod tlakom kroz mali otvor ili mlaznicu. Promjer mlaznice i tlak vode određuju intenzitet navodnjavanja. Većina rasprskivača vlaži tlo u obliku kruga, iako ima i drugih tipova vlaženja.

Svakog rasprskivača karakterizira sljedeće:

- Radni tlak (kPa) potreban za dobru raspodjelu vode,
- Protok ili količina vode koju izbacuje ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ),
- Domet (m).

Ista glava rasprskivača može se koristiti za različiti protok i promjer ovlaživanja promjenom radnog tlaka i/ili promjera mlaznice. Opis rasprskivača koji prilaže proizvođač nudi podatke o najboljoj kombinaciji.

Danas na tržištu imamo veliki broj rasprskivača koji se mogu klasificirati obzorom na:

- tip
- tlak pod kojim rade; mali ( $< 150 \text{ kPa}$ ) do veliki ( $>350 \text{ kPa}$ )
- domet; mali ( $<5 \text{ m}$ ) do veliki ( $>50 \text{ m}$ )
- oblik vlaženja; cijeli ili dio kruga
- intenzitet kišenja; mali ( $<5 \text{ mm h}^{-1}$ ) do veliki ( $>15 \text{ mm h}^{-1}$ ),
- broj mlaznica ; jedna ili više



Slika 1. Rasprskivač

### *Intenzitet kišenja*

Intenzitet kišenja je količina vode koja padne na površinu tla u jedinici vremena tijekom rada rasprskivača. Intenzitet kišenja ovisi o kapacitetu rasprskivača ( $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ ) i, kada se radi o stabilnim sustavima, razmaku između rasprskivača, što određuje navodnjavanu površinu ( $\text{m}^2$ ).

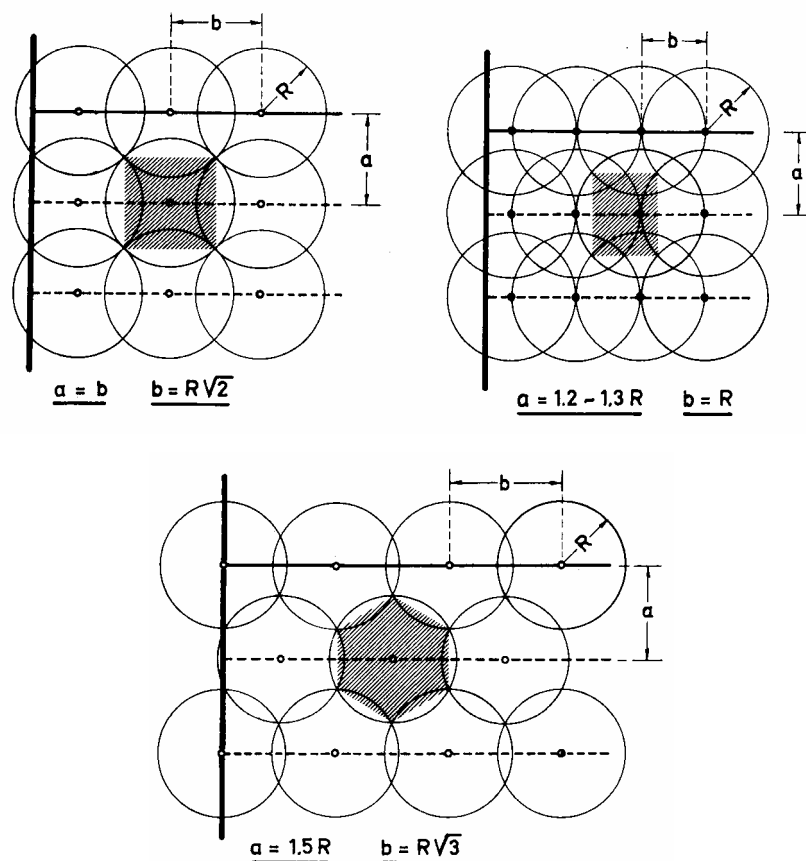
### *Veličina kapi*

Rasprskivači proizvode kapi u širokom rasponu veličina, promjera od 0.5 do 4.0 mm. Malene kapi padaju obično u blizini rasprskivača, a velike imaju i veći domet. Raspon veličina kapi određuje veličina i oblik mlaznice i radni tlak na rasprskivaču. Pri nižem tlaku kapi su veće. Pri visokom tlaku kapi su znatno manje, te je moguće postići i efekat zamagljivanja. Velike kapi imaju visoku kinetičku energiju i mogu oštetiti osjetljive usjeve. Daljnji negativan učinak je i pogoršanje strukture površinskog sloja nekih tala, a što dovodi do smanjenja koeficijenta infiltracije i stvaranja pokorice.

### *Raspodjela vode*

Rasprskivači općenito ne mogu proizvesti potpuno ravnomjernu raspodjelu vode po cijeloj kišenoj površini. Često veća količina vode pada u blizini rasprskivača, te se smanjuje prema rubovima, a radijalna raspodjela vode ostavlja na površini oblike trokuta. Da bi se postigla čim ujednačenija raspodjela vode na cijeloj površini, rasprskivači moraju biti postavljeni dovoljno blizu jedan drugome da bi se njihovi oblici raspodjele preklapali. O izvedbi rasprskivača ovisi i koliki mora biti razmak među njima da bi se takav efekt postigao. Najbolji se učinak postiže kada se rasprskivači postavljaju savim blizu jedan drugome, ali to povećava intenzitet kišenja i troškove sustava.

Fiksno postavljeni rasprskivači postavljaju se obično po kvadratnoj, pravokutnoj ili trokutnoj mreži (slika 2.).



Slika 2. Položaj rasprskivača na lateralima

### *Raspodjela vode u tlu i preporučeni razmaci*

Prilikom odabira rasprskivača potrebno je postići takvu kombinaciju razmaka među njima, radnog tlaka i veličine mlaznice kojom će se postići željeni intenzitet navodnjavanja i najujednačnija raspodjela vode. Ujednačenost raspodjele koji je moguće postići stacionarnim sustavom u najvećoj mjeri ovisi o načinu distribucije vode i razmaku između rasprskivača. Pored toga, ujednačenost znatno ovisi i o vjetru i radnom tlaku. Malene kapi koje proizvode rasprskivači raznosi vjetar što narušava način vlaženja i smanjuje ujednačenost navodnjavanja. U vjetrovitijim uvjetima potrebno je smanjiti razmak rasprskivača kako bi se postigla što ujednačnija raspodjela vode. Nadalje, u vjetrovitim područjima potrebno je laterale postaviti okomito na smjer puhanja vjetra, a razmake rasprskivača na lateralima smanjiti. Rasprskivači su najučinkovitiji ako rade unutar raspona tlaka koji specificira proizvođač. Ako je tlak prenizak, mlaz vode neće se dovoljno razbijati i većina će



vode u krupnim kapima padati po vanjskom rubu ovlaženog promjera. Ukoliko je tlak previsok, razbijanje mlaza je prejako izazivajući zamagljivanje, a većina vode past će u blizini rasprskivača. Oba navedena načina imaju smanjen domet mlaza. Proizvođači rasprskivača specificiraju promjer vlaženja za svaku kombinaciju veličine mlaznica i radnog tlaka datog tipa rasprskivača. Preporučeni razmaci rezultat su eksperimentalnog rada u laboratorijima bez vjetra. Međutim, u prirodnim uvjetima često puta razmak treba korigirati zbog vjetra. Tako po Keller i Bliesner (1990) pri vjetru od  $5 \text{ km h}^{-1}$  razmak rasprskivača treba smanjiti za 10%. Uz to autori preporučaju da za svaki dodatni km povećanja brzine vjetra razmak treba smanjiti za 1,5%.

#### *Prednosti navodnjavanja kišenjem*

Budući postoji više sustava, načina i metoda navodnjavanja, svaka od njih ima svoje prednosti i nedostatke. U usporedbi s površinskim navodnjavanjem, kišenje ima sljedeće prednosti:

- Optimalno projektiranim i dobro održavanim sustavom navodnjavanja kišenjem može se postići visoka učinkovitost i ušteda vode.
- Navodnjavanje kišenjem ne ovisi o infiltracijskoj sposobnosti tla, već se njoj prilagođava.
- Ravnanje terena nije potrebno, budući da se sustav prilagođava topografiji terena.
- Površine strme ili neravne topografije mogu se navodnjavati bez rizika od otjecanja ili erozije.
- Moguće je se provoditi učestalo navodnjavanje malog intenziteta, kakvo je, na primjer, potrebno u fazi klijanja.
- Sustavi navodnjavanja kišenjem mogu učinkovito koristiti male protoke na izvoru vode i prilagoditi se izdašnosti izvora vode.
- Mehanizirani sustav kišenja traži vrlo mali utrošak radne snage i relativno se jednostavno njime upravlja.
- Fiksni sustav kišenja traži vrlo malo terenskog rada tijekom sezone navodnjavanja i moguće ga je potpuno automatizirati.

- Fiksni sustav kišenja može se koristiti i za kontrolu ekstremnih vremenskih uvjeta, povećanjem vlažnosti zraka, hlađenjem usjeva ili smanjivanjem štete od smrzavanja.
- Kišenjem se mogu isprati soli iz zaslanjenih tala učinkovitije nego površinskom ili mikro-irigacijom.

#### *Nadostaci navodnjavanja kišenjem*

Navodnjavanje kišenjem ima sljedeće nedostatke:

- Početni troškovi su veći nego za površinsko navodnjavanje, ako to ne uključuje skupo ravnanje terena.
- Značajni su i troškovi za energiju potrebnu za opskrbu vode pod tlakom, a što ovisi o tlaku koji je potreban za rasprskivače i cijeni energenta.
- Ukoliko na raspolaganju nema kontinuirano dovoljno vode, tada je potrebno osigurati akumulaciju.
- Kada je koeficijent infiltracije tla manji od  $3\text{-}5\text{ mm h}^{-1}$ , može doći do površinskog otjecanja.
- Vjetroviti i suhi uvjeti uzrokuju gubitke vode evaporacijom i odnošenjem vjetrom.
- Nepravilni oblici proizvodnih površina manje su pogodni za navodnjavanje i skuplji, a što se naročito odnosi na mehanizirani sustav kišenja.
- Voda određene kakvoće može uzrokovati koroziju metalnih cijevi u sustavu za navodnjavanje.
- Voda u kojoj ima otpada ili pijeska mora se pročistiti da ne bi došlo do začepljenja mlaznica.
- Navodnjavanje kišenjem zaslanjenom vodom može izazvati probleme na usjevima. Visoke koncentracije bikarbonata u vodi za navodnjavanje mogu utjecati i na kakvoću plodova. Ukoliko su koncentracije natrija i klorida u vodi za navodnjavanje veće od  $70\text{ do }105\text{ mg l}^{-1}$ , može doći do ozbiljnog oštećenja usjeva.
- Visoka vlaga zraka i vlažna biljka nakon kišenja pogoduju razvoju nekih gljivičnih bolesti.

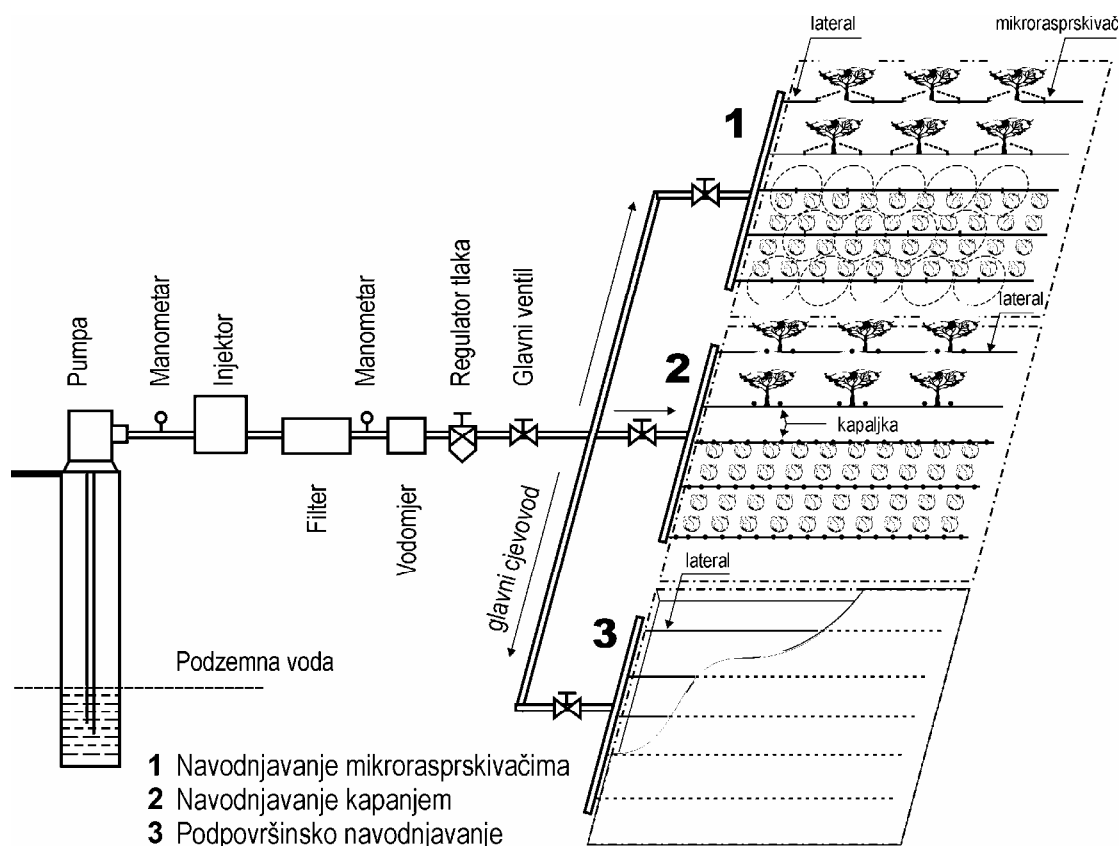
## 2.2. Lokalizirano navodnjavanje

Pod lokaliziranim navodnjavanjem podrazumijeva se sustav kojim se voda dodaje u manjim količinama, precizno, u obliku malenih vodnih struja, mlazova, kontinuiranih ili pojedinačnih kapljica, a navodnjava samo dio poljoprivredne površine, i to onaj dio gdje se razvija glavna masa korijena.

Premda se ova metoda smatra novijom tehnikom navodnjavanja, u svijetu je bilo pokušaja dovođenja vode što bliže korijenu primjenom različitih cijevi s otvorima (glinenih, metalnih), ali svoju gospodarsku ekspanziju ovaj metoda doživljava tek tijekom i poslije drugog svjetskog rata razvojem plastike. Kako navode Bucks i Davis (1986) već 1940. godine u Engleskoj se u staklenicima navodnjavalo plastičnim cijevima. Od tada počinje brzo širenje lokaliziranog navodnjavanja u svijetu. U SAD, Izraelu, Francuskoj, Italiji, ubrzo se ova metoda koristi za navodnjavanje značajnih poljoprivrednih površina. Tako se, na primjer, od ukupno 22,1 mil. hektara navodnjavanih površina u SAD, lokalizirano navodnjavanje se primjenjuje na 5% površina. Međutim, u južnim državama SAD, kao što je California, Florida, Georgija, Michigan i Teksasa ovaj se metoda primjenjuje i na 40% poljoprivrednih površina. Lokalizirano navodnjavanje naročito nalazi svoju primjenu tamo gdje su ograničeni izvori vode za navodnjavanje i pri uzgoju dohodovnijih kultura, dakle u povrćarstvu, voćarstvu i vinogradarstvu.

Premda službenih statističkih podataka o lokaliziranom navodnjavanju nema, ipak se može konstatirati da se i kod nas, naročito u priobalju, sve više primjenjuje ova metoda pri uzgoju povrća, voća kao i uzgoju kultura u zaštićenom prostoru.

Sastavni dijelovi metode lokaliziranog navodnjavanja su: usisni vod, predfilter, pumpa, nepovratni ventil, injektor za kemijska sredstva, filteri, glavni cjevovod, razvodna mreža, laterarni cjevovod, a sustav završava emiterima koji mogu biti minirasprskivači ili kapaljke (slika 3).



Slika 3. Osnovni dijelovi sustava lokaliziranog navodnjavanja

Upravo su dijelovi sustava na kojima voda pod tlakom izlazi iz cjevovoda i navodnjava površinu bili glavni kriteriji za podjelu na dvije metode:

- navodnjavanje minirasprskivačima i
- navodnjavanje kapanjem.

### 2.2.1. Navodnjavanje minirasprskivačima

Ovim načinom navodnjavanja voda na površinu tla pada u obliku malog mlaza ili maglice. Od navodnjavanja kišenjem razlikuje se po tome što sustav radi pod manjim tlakom (od 1,0 do 2,5 bara), što je intenzitet navodnjavanja manji (20 do 80 l/h) i što se navodnjava samo dio poljoprivredne površine gdje se razvija glavna masa korijena.

Ovaj način navodnjavanja primjenjuje se pri uzgoju kultura koje se sade na veći razmak, kao što su drvenaste voćarske kulture i vinogradi, ili kod povrćarskih kultura koje trebaju učestalo navodnjavanje manjim količinama. Naročito je važna i

njegova primjena pri proizvodnji presadnica ili na otvorenom ili u zaštićenom prostoru.

Navodnjavanje minirasprskivačima osjetljivo je u vjetrovitim područjima i u područjima visoke evaporacije.

Tržište danas nudi više tipova minirasprskivača različitih konstrukcija, kao što su kontinuirani i pulsirajući, s navodnjavanjem cijelog ili samo dijela kruga, različitog dometa i intenziteta navodnjavanja. Primjer minirasprskivača prikazan je na slici 4.



Slika 4. Minirasprskivač

Zbog veličine mlaznice minirasprskivača manja je potreba filtriranja vode u odnosu na navodnjavanje kapanjem.

#### 2.2.2. Navodnjavanje kapanjem

Patentiranjem prve plastične kapaljke od Blass-a u Izraelu ovaj način navodnjavanja počeo se širiti po svijetu. Uređaj kapanja karakterizira upravo kapaljka kao mjesto na kojem se reducira radni tlak iz cijevi i u obliku kapljice ispušta vodu na ili u tlo. S obzirom na mjesto gdje su postavljene laterarne cijevi i kapaljke, ovaj način ima dva sustava: *površinsko i potpovršinsko navodnjavanje*. Kod površinskog

navodnjavanja cijevi i kapaljke su postavljene iznad ili na površini tla, a kod potpovršinskog navodnjavanja oni su ukopane u tlo (slika 3).

Dobrim kapaljkama smatraju se one koje osiguravaju mali ujednačeni tok vode ili kapanje s konstantnim istekom, koji značajno ne varira na površini pod sustavom. Konstruirano je i proizvedeno više tipova kapaljki s ciljem da nisu skupe, da su puzdane i da osiguravaju ujednačen istek. Upravo u kapaljkama, kao zadnjoj sastavnici ovog načina razlika u tlaku vode u laterarnoj cijevi i atmosferskom tlaku mora biti savladana prije nego voda dopiye na tlo. Različiti tipovi kapaljki konstruirani su upravo na konceptu ovladavanja razlikom tlakova. I druge su značajke, kao što je sprječavanje začepljenja, bile važne za iznalaženje tipova kapaljki. Navedeni su samo neki od osnovnih tipova kapaljki:

- kapaljke na principu laminarnog toka vode (mikrocijevi),
- kapaljke na principu turbulentnog toka (labirinta),
- kompenzirajuće kapaljke ili kapaljke na principu izjednačavanja tlaka,
- samoispirajuće kapaljke.

S obzirom na mjesto instaliranja kapaljki na lateralnim cijevima razlikujemo kapaljke ugrađene u cijevi, na njih i dodane ili postavljene na cijev.

U posljednje vrijeme na tržištu se pojavljuju i trake s ugrađenim kapaljkama. Neki od tipova kapaljki prikazani su na slici 5.



Slika 5. Različiti tipovi kapaljki

Jedan od najznačajnijih problema navodnjavanja kapanjem je začepljenje kapaljki, bilo mehaničko ili kemijsko. Začepljenje kapaljki je izravno povezano s kakvoćom vode za navodnjavanje, te s njezinim fizikalnim, kemijskim i

mikrobiološkim čimbenicima. Sva su tri čimbenika i međusobno povezana. Zbog toga prije instaliranja kapanja mora biti učinjena analiza kakvoće vode. S obzirom na rezultate tih analiza treba biti odabrana odgovarajuća oprema i sustav gospodarenja. Mjesto za filtriranje svakako mora biti sastavni dio sustava navodnjavanja kapanjem, bilo da se koristi prirodna ili otpadna voda, ali, naravno, odgovarajuće kakvoće. Filterima se sprječava mehaničko začepljenje kapaljki. Na temelju analize vode odabire se odgovarajući tip filtera: šljunkovito/pjeskoviti, mrežasti, diskosni ili hidrocikloni.

Šljunkovito/pjeskoviti filteri koriste se za taloženje pjeskovitih čestica i algi iz vode za navodnjavanje. Voda prolazi kroz više slojeva koje izmjenično čine pijesak i šljunak. Prednost ovog filtera je u tome što je relativno jeftin, a može biti naročito učinkovit kao prefilter za jako onečišćenu vodu.

Kod mrežastih se filtera, mrežice, izgrađene od nehrđajućeg čelika, koriste kao brana prolasku krupnijih čestica pijeska i praha u sustav za navodnjavanje.

Diskosni filteri predstavljaju seriju diskova spojenih u cjelinu koji sprječavaju prolaz krupnijim organskim ili anorganskim česticama dispergiranih u vodi za navodnjavanje.

Hidrociklički je filter konusnog oblika, širi na vrhu, a radi na principu centrifugiranja. Hidrociklički filteri uklanjaju suspendirane čestice usljed veće specifične težine od vode.

Različiti tipovi filtera prikazani su na slici 6.



Slike 6. Različiti tipovi filtera

Filterima se može spriječiti mehaničko začepljenje kapaljki. Međutim, kroz filtere povremeno prolaze sitnije čestice koje se mogu akumulirati u cijevima. Tijekom rada sustava u sezoni navodnjavanja povremeno je potrebno ispirati cijevi, jednostavno otvaranjem i ispuštanjem mlaza vode.

Osim mehaničkog kapaljke su podložne i kemijskom začepljenju. Ono se javlja kao posljedica stvaranja netopivih soli na samom otvoru ili unutar kapaljke. Taloženjem (precipitacijom) soli kalcija, magnezija, željeza ili mangana, smanjuje se učinkovitost cijelog sustava.

Odgovarajuće rješenje mogućeg začepljenja kapaljki moguće je dati tek nakon analize kemijskog sastava vode za navodnjavanje.

Jedan od mogućih načina sprječavanja taloženja karbonata jest kontroliranje pH vode. Mogućnost precipitacije karbonata iz vode povećava se i s povećanjem temperature. Sustavi za navodnjavanje su često izloženi izravnoj sunčevoj svjetlosti, čime se voda unutar sustava može zagrijati i do 50°C. Jedan od učinkovitih načina sprječavanja taloženja karbonata iz vode jest smanjivanje pH dodavanjem kiseline. Međutim, postupak zahtjeva veliku pozornost, jer, osim što je dodavanje suviška kiseline neekonomično, ona može izazvati oštećenje naročito metalnih dijelova sustava.

Kontaminiranje vode bakterijama i algama, posebno iz površinskih izvora, može također uzrokovati začepljenje dijelova sustava ili njihovo oštećenje korozijom. Ti se procesi mogu uspješno sprječavati kloriranjem vode.

Organska tvar može se ispirati vodom ili komprimiranim zrakom. Alge i mikroorganizmi mogu proći kroz filtre i razvijati se u sustavu, a što se sprječava kloriranjem.

### Injektori

Jedna od značajnih prednosti lokaliziranog navodnjavanja jest mogućnost primjene tekućih gnojiva, ali i drugih vodotopivih kemikalija za potrebe poljoprivredne proizvodnje, istovremeno s navodnjavanjem. Kontrolirana količina kemikalija, odnosno ona koja je potrebna za postizanje tražene koncentracije, mora biti usisana u cijevovod u kojem se pod tlakom nalazi voda. Imamo nekoliko različitih tipova injektora:

- injektor na principu venturijeve cijevi. Temelji se na razlici tlakova do koje dolazi prolaskom vode kroz suženje u cijevi. Naime, podtlak koji se stvara prolaskom vode pod poznatim tlakom kroz suženje omogućava usisavanje kemikalije iz pripremljene posude. Količina otopine injektirane



u sustav ovisi o protoci vode što je povezano s promjerom cjevi i brzini vode. Za rad ovih injektora nije potrebna dodatna energija.

- injektori sa vlastitim pogonom. To su injektori koji imaju vlastitu pumpu koja injektira kemikalije u cijevovod u konstantnoj količini. Dijelovi pumpe moraju biti izgrađeni od materijala koji kemijski ne reagiraju sa kemikalijama koje se injektiraju u sustav.

Injektori se postavljaju obično uzvodnije od završnog filtera.

Dva tipa injektora prikazana su na slici 7



Slika 7. Različiti tipovi inektora

#### Prednosti i nedostaci lokaliziranog navodnjavanja

Svaka metoda, način i sustav navodnjavanja može imati odgovarajuće prednosti i nedostatke s obzirom na agroekološke, tehničke, tehnološke i ekonomske posebnosti. U odnosu na druge metode lokalizirano navodnjavanje ima sljedeće svoje prednosti:

- štedi vodu, ušteda se postiže time da se navodnjava samo dio ukupne površine, manji su gubici isparavanjem, a primjenom manjih količina vode

manjeg intenziteta smanjeno je površinsko otjecanje. Manji su i gubici vode pod utjecajem vjetra, što ne vrijedi za minirasprskivače, naročito one koji proizvode maglu;

- povećava prinos, učestalije dodavanje vode smanjuje mogućnost vodnog stresa biljke što se odražava na rast i razvoj, a time i na prinos uzgajane kulture;
- smanjena opasnost od zaslanjivanja, češće navodnjavanje utječe na smanjenje koncentracije soli u tlu, uklanja mogućnost izravnog oštećenja lista visokim koncentracijama soli, ispire soli na rubove rizosfere;
- omogućava primjenu kemikalija, ovakav sustav omogućava primjenu kemikalija (gnojiva, herbicida, insekticida, fungicida, nematicida, regulatora rasta) zajedno s vodom, što ima prednost i s ekonomskog i ekološkog stajališta. Primjerice, primjenom gnojiva kroz sustav smanjuje se njihova količina budući se ona dodaju ciljano samo u zonu korijena, doziranje se provodi prema potrebama biljke, višekratna primjena smanjuje mogućnost njihovog ispiranja;
- ograničava rast korova, reducira se rast korova na dijelu nenavodnjavane površine, što ujedno smanjuje i potrošnju vode. Filtriranjem vode smanjuje se donos sjemenki korova vodom. Međutim, lokalizirano navodnjavanje može i potaknuti rast korova u zoni vlaženja, a i to se učinkovito može rješavati primjenom selektivnih herbicida kroz sustav.
- smanjuje se potrebna energija, cijena energije za pokretanje pumpi je manja, jer je radni tlak ovog sustav relativno nizak u usporedbi s drugim načinima i sustavima navodnjavanja pod tlakom. Efikasnost ovog navodnjavanja je veća te se ono može uspoređivati i sa površinskim navodnjavanjem budući da se pumpa značajno manja količina vode.
- smanjuje radna snaga, sustav se može automatizirati što izravno smanjuje potrebu za radnom snagom.
- uvođenje suvremenih proizvodnih postupaka, u kombinaciji sa navodnjavanjem mogu se provoditi postupci kao malčiranje tla itd.

Usprkos brojnim prednostima lokaliziranog navodnjavanja, moguća je i pojava određenih problema kao što je:

- začepljenje, potpuno ili djelomično začepljenje unutar sustava ili kapaljki jedan je od najvećih problema lokaliziranog navodnjavanja. Začepljenje će nepovoljno utjecati na ujednačenost primjene vode i kemikalija.
- oštećenja, većina dijelova izrađena su od plastičnih materijala koji mogu biti oštećeni glodavcima, nepažljivim rukovanjem ili mehanizacijom.
- akumulacija soli u blizini korijena, primjenom jako zaslanjene vode visoke koncentracije soli akumuliraju se na površini tla ili na rubnim dijelovima vlažne zone. Oborine mogu premjestiti soli unutar zone zakorjenjavanja i time oštetiti biljku. Akumulacija soli od prethodnog navodnjavanja može onemogućiti klijanje ili nicanje nove biljke.
- ograničava razvoj korijenovog sustava, vlaženjem samo dijela tla potencira razvoj korijena unutar zone vlaženja što može uzrokovati čak i narušavanje statike biljke ili potrebu za korištenjem podupornja.
- cijena koštanja, početna cijena koštanja lokaliziranog navodnjavanja je viša u odnosu na neke druge metode i načine. Cijena ipak znatno ovisi o kulturi koja se navodnjava, opremi koja se ugrađuje i stupnju automatizacije. Cijena koštanja je vrlo važna budući da je navodnjavanje i ekonomska kategorija

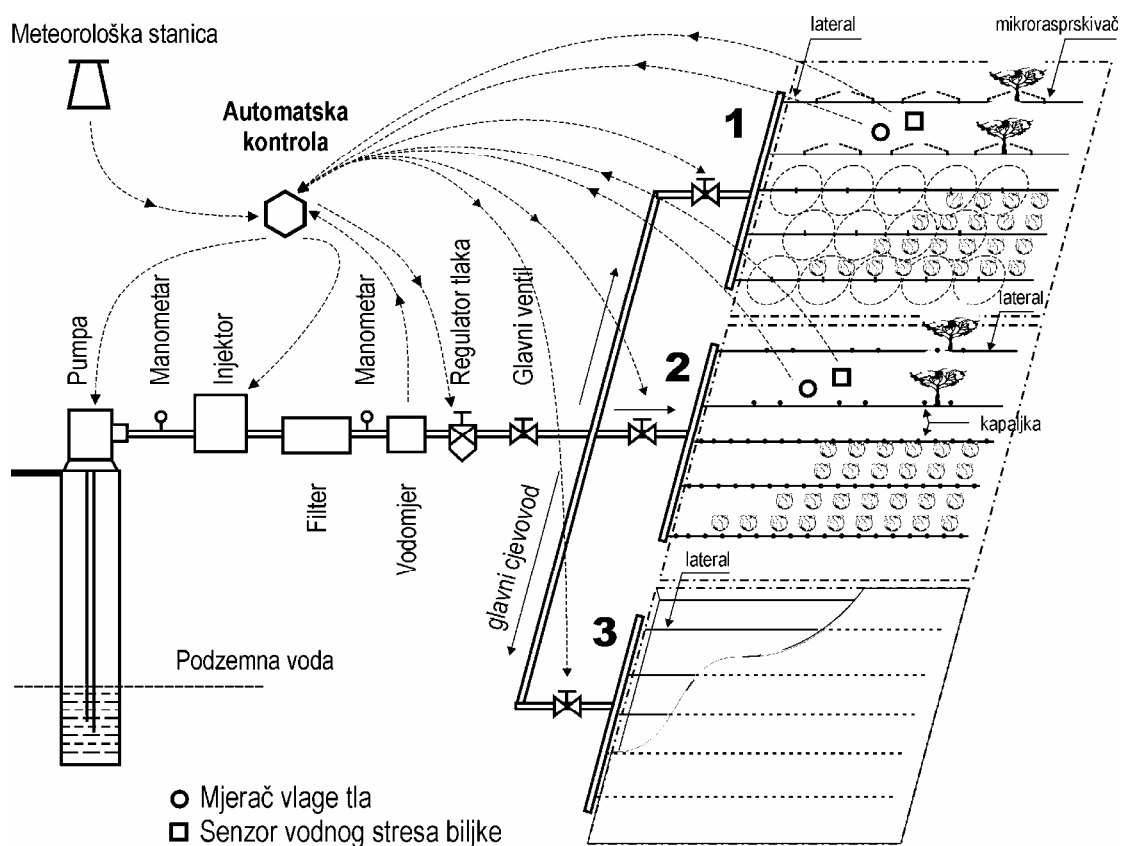
#### Gospodarenje sustavom lokaliziranog navodnjavanja

Od lokaliziranog navodnjavanja, kao metode kojim se voda dodaje u kraćim vremenskim intervalima i manjem intenzitetu a prema zahtjevu uzgajane kulture, traži se da se izbjegne ili bar minimalizira vodni stres biljke, a time osigurava mogućnost ostvarenja visokog prinosa. Takav sustav traži odgovarajuće mjere gospodarenja.

Tijekom rada lokaliziranog navodnjavanja svakako treba kontrolirati radni tlak u cijevovodu. Promjena tlaka može imati direktnog utjecaja na efikasnost sustava. Osim radnog tlaka neophodno je kontrolirati i protok vode kroz cijevovode. Nadalje, potrebno je odrediti trenutak početka navodnjavanja. Ovaj parametar u praksi navodnjavanja određuje se na više načina (Tomić, 1988). Ipak najčešći način

određivanja trenutka početka navodnjavanja je mjerenjem vlage u tlu primjenom različitih mjerača.

Upravljanje sustavom lokaliziranog navodnjavanja može biti manualno i kompjutersko. U posljednje vrijeme osim na efikasnosti znanstvenici i stručnjaci veliki trud ulažu u automatizaciju sustava. Danas na tržištu postoji od vrlo jednostavne opreme koja uključuje i isključuje sustav do složenih kompjuterskih paketa koji kontroliraju i upravljaju sa velikim brojem sastavnica sustava. Kontrolirat i upravljat se može, kako je prikazano na slici 8, sa velikim brojem sastavnica sustava.



Slika 5. Sastavnice sustava lokaliziranog navodnjavanja koje se mogu automatizirati

### 3. KAKVOĆA VODE ZA NAVODNJAVANJE

Navodnjavanje je, kroz praksu s više od sedam milenija dugom poviješću, polučilo brojne povoljne, ali i nepovoljne učinke. Jedan od najvećih nepovoljnih učinaka i problema jest sekundarno zaslanjivanje i alkalizacija tla. Bilo bi teško i nabrojati primjere sekundarne salinizacije i/ili alkalizacije koji su zabilježeni u svijetu tijekom tako duge povijesti. Szabolcs (1979) iznosi podatak da se od ukupno 223 milijuna ha navodnjavanih tala u svijetu, jedna trećina do jedne polovice smatra se zaslanjenima i/ili alkaliziranima. Međutim, ovaj problem nije svojstven samom navodnjavanju, već njegovoj nemarnoj praksi. Dugotrajnom primjenom navodnjavanja, koje je u početnom razdoblju u pravilu rezultiralo povećanjem produkcije, nedovoljnim znanjem i bez kontrole kakvoće i količine primijenjene vode podmuklo su se širili problemi koji se u početku nisu uočavali. Zadnjih desetljeća se u znanstvenim i stručnim krugovima ulažu veliki naponi za rješavanje problema kakvoće vode. Pored zaslanjivanja i alkalizacije, u posljednje vrijeme problem dodatno komplicira sve češća primjena otpadnih voda za navodnjavanje. Primjenom otpadnih voda nedefinirane kakvoće, mogu se i u tlu i u biljci akumulirati štetne tvari i koje dakako mogu biti uključene u hranidbeni lanac.

Napredovanje u znanosti i tehnologiji navodnjavanja podrazumijeva stjecanje i primjenu znanja koje vodi točnoj kontroli i kakvoći aplicirane vode.

Pogodnost vode za navodnjavanje definirana je njenim fizikalnim, kemijskim i biološkim značajkama. U tablici 1 prikazni su najvažniji fizikalni, kemijski i biološki parametri koje treba razmotriti prilikom ocjenjivanja mogućnosti primjene neke vode za navodnjavanje.

**Tablica 1.** Osnovni parametri za ocjenu kvalitete vode

<b>Fizikalni</b>	<b>Kemijski</b>	<b>Biološki</b>
Temperatura	Reakcija (pH)	Broj koliformnih organizama
Suspendirane čestice	Ukupno otopljene soli	Broj patogenih klica
Boja / Mutnoća	Vrsta i koncentracija aniona	Biološka potreba za kisikom (BPK)
	Vrsta i koncentracija kationa	
	Mikroelementi	
	Toksični ioni	
	Teški metali	

Pored navedenog aspekta kakvoće, pogodnost vode za navodnjavanje treba biti ocijenjena i na osnovi specifičnih uvjeta upotrebe, uključujući uzgajanu kulturu, svojstva tla, praksu navodnjavanja, agrotehničke mjere i klimatske prilike.

#### Fizikalne značajke vode za navodnjavanje

Od fizikalnih značajki najvažnije su temperatura vode i količina suspendiranih čestica. Navodnjavanje pretoplom ili prehladnom vodom može izazvati temperaturne šokove biljke. Općenito se smatra da je za većinu usjeva u vegetacijskom razdoblju temperatura vode od oko 25<sup>0</sup>C najpovoljnija za navodnjavanje. Pored same temperature vode vrlo je važan i odnos topline biljke i topline vode. Smatra se da razlika ne bi smjela biti veća od 10<sup>0</sup>C. Važno je, dakako, i koja se kultura navodnjava, jer nisu sve kulture jednako osjetljive na temperaturne šokove, zatim o razvojnoj fazi biljke i metodi navodnjavanja. Površinske vode u pravilu su uvijek toplije od podzemnih. Poznat je niz slučajeva da se kod korištenja podzemne vode za navodnjavanje grade bazeni (akumulacije) za temperiranje, a naročito kada se navodnjava sustavom kišenja.

Količina suspendiranih čestica u vodi za navodnjavanje vrlo je bitan fizikalni parametar. Na količinu suspendiranih čestica u vodi koja se koristi za navodnjavanje posebno su osjetljivi sustavi pod tlakom. Do oštećenja može doći bilo na pumpi ili pojedinim dijelovima razvoda vode. Kod lokaliziranog navodnjavanja može doći do začepjenja mlaznica ili kapaljki. Količina suspendiranih čestica u vodi može izravno utjecati na izbor načina i sustava navodnjavanje ili dijelova opreme unutar sustava.

#### Kemijske značajke vode za navodnjavanje

Postupak ocjene kakvoće vode za navodnjavanje ima cilj predvidjeti ionski sastav i matriks potencijal otopine tla u vremenu i prostoru, te odgovoriti na pitanje kakve će posljedice na tlo i biljku imati aplikacija vode takve kakvoće u datim agroekološkim uvjetima. Voda koja se koristi za navodnjavanje može kvalitativno varirati ovisno o količini otopljenih soli. Različiti problemi tla i usjeva povećavaju se s porastom ukupnog sadržaja soli iznad prihvatljivih granica. Razvoj znanosti i iskustva korištenja zaslanjene vode rezultirao je većim brojem klasifikacija. Međutim, najčešće korišteni kriteriji povezani su s problemima zaslanjivanja, alkaliteta i toksičnosti pojedinih iona.

- zaslanjenost, djelovanje soli na razvoj biljke putem osmotskog efekta što se povezuje sa ukupnom koncentracijom soli;
- alkalitet, djelovanje suviše koncentracije iona natrija u tlu na strukturu, a povezano sa time i na infiltracijsku sposobnost i propusnost;
- toksičnost, djelovanje pojedinih iona iz tla ili vode koji se akumuliraju u biljci do koncentracije koja uzrokuje oštećenje biljke i smanjenje prinosa.

Kemijska analiza vode za navodnjavanje nužna je da bi se predvidjeli mogući problemi, a prema samoj kakvoći utvrđuju se i potrebne mjere gospodarenja. U tablici 2 prikazani su najčešći kemijski parametri za procjenu kakvoće voda i rasponi njihovih uobičajenih vrijednosti u vodi za navodnjavanje.

**Tablica 2.** Kemijski parametri za procjenu kvalitete voda za navodnjavanje i njihove uobičajne vrijednosti

	Simbol	Jedinica mjere	Uobičajena vrijednost
<b>Zaslanjivanje</b>			
<i>Sadržaj soli</i>			
Električna vodljivost ili	EC <sub>w</sub>	dS/m	0 - 3
Ukupno otopljene soli		mg/l	0 - 2000
<i>Kationi i anioni</i>			
Kalcij	Ca <sup>+2</sup>	me/l	0 - 20
Magnezij	Mg <sup>+2</sup>	me/l	0 - 5
Natrij	Na <sup>+</sup>	me/l	0 - 40
Karbonati	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	me/l	0 - 0,1
Bikarbonati	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	me/l	0 - 10
Kloridi	Cl <sup>-</sup>	me/l	0 - 30
Sulfati	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	me/l	0 - 20
<b>Hraniva</b>			
Dušik – nitratni oblik	NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0 - 10
Dušik – amonijačni oblik	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0 - 5
Fosfor	PO <sub>4</sub> -P	mg/l	0 - 2
Kalij	K	mg/l	0 - 2
<b>Ostalo</b>			
Bor	B	mg/l	0 - 2
Reakcija	pH		6,0 - 8,5
Omjer adsorbiranog natrija	SAR	me/l	0 - 15

U svjetskim razmjerima koristi se velik broj klasifikacija bilo za ocjenu kvalitete vode za navodnjavanje ili za primjenu u poljoprivredi općenito. Budući da nemamo vlastitu klasifikaciju, u hrvatskoj agronomskoj praksi se za tumačenje ovog problema najčešće koristi klasifikacija FAO (1985).

University of California (citira Ayers i Westcot, 1985) predlaže vodiča za ocjenu kakvoće vode za navodnjavanje, u namjeri da pokrije široko područje uvjeta koji se susreću u poljoprivredi s navodnjavanjem. Kakvoća vode ocjenjuje se s obzirom na tri prije navedena problema. Granične vrijednosti postavljene su uz uvjet da mora biti iskorišten puni potencijal uzgajane kulture, da je teksturni sastav

navodnjavanog tla praškasta ilovača do praškasta glina, da tlo ima dobru internu dreniranost, te da će navodnjavanje biti prilagođeno zahtjevu biljke s tim da se količina fiziološki aktivne vode neće spustiti ispod 50% poljskog vodnog kapaciteta.

**Tablica 3.** Vodič za tumačenje kvalitete vode za navodnjavanje

Mogući problemi	Jedinica mjere	Ograničenje primjene		
		Nema	Slabo do umjereno	Izrazito
<b>Zaslanost</b>				
Elektrovodljivost (EC <sub>w</sub> )	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Ukupno otopljene soli	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
<b>Infiltracija</b> ( <i>utječe na brzinu upijanja vode u tlo</i> ), ocjenjuje se na temelju EC <sub>w</sub> i SAR)				
SAR = 0 - 3 i EC <sub>w</sub> =		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
SAR = 3 - 6 i EC <sub>w</sub> =		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
SAR = 6 - 12 i EC <sub>w</sub> =		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
SAR = 12 - 20 i EC <sub>w</sub> =		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
SAR = 20 - 40 i EC <sub>w</sub> =		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
<b>Toksičnost pojedinih iona</b>				
<u>Natrij (Na)</u>				
-površinsko navodnjavanje	SAR	< 3	3 - 9	> 9
-navodnjavanje kišenjem	me/l	< 3	> 3	-
<u>Klor (Cl)</u>				
-površinsko navodnjavanje	me/l	< 4	4 - 10	> 10
-navodnjavanje kišenjem	me/l	< 3	> 3	-
<u>Bor (B)</u>				
	me/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
<b>Ostalo</b>				
-dušik (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	< 5,0	5,0 - 30,0	> 30,0
-bikarbonati (HCO <sub>3</sub> )(samo kod kišenja iznad krošnje)	mg/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		uobičajena vrijednost 6,5 - 8,4		

Kao što je prikazano u tablici 3 po ovim se uputama voda svrstava u jednu od triju kategorija s obzirom na pogodnost za navodnjavanje: *bez ograničenja*, *slabo do umjereno* i *izrazito ograničenje*. Pri upotrebi prve kategorije, uz uobičajeni način gospodarenja, nema nikakve opasnosti od pojave ikakvih problema u tlu i kulturi. Ako se želi navodnjavati vodom druge kategorije, može se postići potpun uspjeh samo uz uvjet pažljivog izbora kultura i primjenom posebnih mjera gospodarenja. Kod primjene vode treće kategorije mogu se očekivati ozbiljni problemi u tlu i/ili na biljci.

Do problema zaslanjivanja dolazi kad se koncentracija soli u tlu poveća do granice koja izaziva smanjenje primanja vode od strane biljke, a što dalje vodi smanjenju prinosa. Pristup problemu ekstrakcije vode iz tla i usvajanja putem biljke



temelji se na prepoznavanju svih dijelova fizički integriranog sustava tlo - biljka - atmosfera. Do primanja vode putem biljnog korijena dolazi uslijed razlike potencijala vode u tlu i staničnoj citoplazmi korijena. Zanemarujući utjecaj gravitacije, ukupni vodni potencijal u tlu određen je matriks potencijalom i osmotskim potencijalom. Osmotski je potencijal u funkciji koncentracije soli u otopini tla. Smanjenjem matriks potencijala povećava se osmotski potencijal, a posljedica toga je vodni stres i usporen rast biljke. Simptomi ove pojave slični su simptomima nastalima sušom. Problem se dalje povećava primjenom vode veće koncentracije soli.

Navedena klasifikacija je samo orijentacijska, dok pogodnost vode treba biti ocijenjena na osnovi specifičnih uvjeta upotrebe. Unutar svakog agroekološkog područja treba analizirati kulturu koja se želi navodnjavati. Sve poljoprivredne kulture nisu jednako osjetljive na soli. Na temelju mnogobrojnih pokusa u poljskim uvjetima *Maas i Hoffman (1977)* i *Maas (1984)* utvrdili su da je smanjenje rasta biljke upravo proporcionalno s porastom zaslanjenosti vode. *Maas (1986)* daje podatke o osjetljivosti pojedinih kultura te redukciji prinosa kao posljedici povećanja koncentracije soli. Osjetljivost povrćarskih kultura na soli prikazana je u tablici 4.

**Tablica 4.** Tolerantnost povrćarskih kultura i smanjenje prinosa kod navodnjavanja vodom dane elektrovodljivosti ( $EC_w$  u dS/m)

Kultura	PRINOS %				
	100	90	75	50	0
	$EC_w$ (dS/m)				
Tikvice	3,1	3,8	4,9	6,7	10
Cikla	2,7	3,4	4,5	6,4	10
Brokula	1,9	2,6	3,7	5,5	9,1
Rajčica	1,7	2,3	3,4	5,0	8,4
Krastavac	1,7	2,2	2,9	4,2	6,8
Špinat	1,3	2,2	3,5	5,7	10
Celer	1,2	2,3	3,9	6,6	12
Kupus	1,2	1,9	2,9	4,6	8,1
Krumpir	1,1	1,7	2,5	3,9	6,7
Paprika	1,0	1,5	2,2	3,4	5,8
Salata	0,9	1,4	2,1	3,4	6,0
Radič	0,8	1,3	2,1	3,4	5,9
Luk	0,8	1,2	2,1	2,9	5,0
Mrkva	0,7	1,1	1,9	3,0	5,4
Grah	0,7	1,0	1,5	2,4	4,2

Podaci izneseni u tablici 4 predstavljaju relativnu otpornost pojedinih kultura na soli, a tijekom cijele vegetacijske sezone navodnjava se vodom navedenih koncentracija soli. Međutim, potpuna tolerantnost varira ovisno o klimi, uvjetima u tlu i proizvodnim postupcima. Nadalje, sve kulture nisu jednako osjetljive u svim razvojnim fazama.

Navodnjavanje zaslanjenom vodom traži posebne mjere gospodarenja. Jedna od najčešćih mjera je ispiranje soli. Ispiranje podrazumijeva dodavanje većih količina vode od proračunatog obroka navodnjavanja s ciljem ispiranja soli u dublje slojeve tla. Nadalje, ispiranje se može provoditi i nakon sezone navodnjavanja s ciljem da se akumulirane soli isperu i tlo pripremi za sljedeću kulturu. Ispiranje može biti i prirodnim putem oborinama. Istraživanjima provedenima u našim uvjetima utvrđeno je da se prirodnim ispiranjem iz tla mogu ukloniti značajne količine soli unešene u tlo navodnjavanjem zaslanjenim vodama (Romić, 1994, te Romić i Romić, 1997).

Na poljoprivrednim površinama na kojima se navodnjava zaslanjenom vodom ugrađuju se i drenske cijevi, radi što lakšeg i bržeg odvođenja vode.

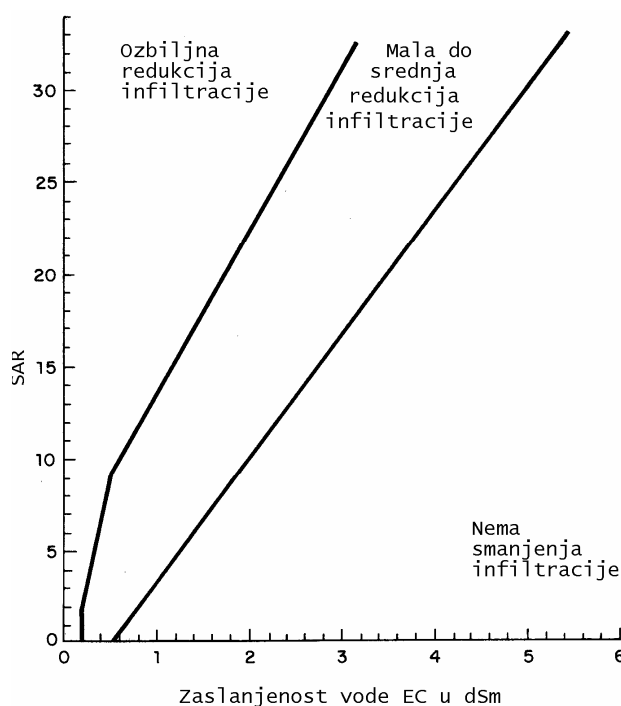
Izbor sustava navodnjavanja također je bitan. Lokaliziranim navodnjavanjem učestalo se dodaje voda što može smanjiti negativni osmotski efekt, a soli se "izguravaju" na rubove rizosfere. Nadalje, lokaliziranim navodnjavanjem se ne vlaži biljka, a što smanjuje opasnost od oštećenja lista.

U praksi korištenja zaslanjene vode vrlo često se primjenjuje i razrijeđivanje do koncentracija koje neće izazvati oštećenja miješanjem zaslanjene i svježje vode. Naime, problem zaslanjivanja najizraženiji je u područjima gdje su i ograničene količine vode koje se mogu koristiti za navodnjavanje. Razrijeđenjima se osiguravaju veće količine raspoložive vode.

Štetne posljedice suvišnog natrija u tlu odražavaju se promjenom fizikalno-kemijskih svojstava matriksa tla bubrenjem gline i disperzijom čestica tla. Ti su mehanizmi međusobno povezani i uzrokuju smanjenje infiltracijske sposobnosti i propusnosti tla za vodu. Kemijska disperzija čestica tla izaziva pokoricu koja je jedna od dijagnostičkih znakova alkaliziranih tala.

Kemijska disperzija, kao posljedica upotrebe vode za navodnjavanje, može se predviđati izračunavanjem SAR vrijednosti. SAR vrijednost predstavlja odnos između natrija prema kalciju i magneziju u njihovim zamjenjivim reakcijama u tlu. Povećanjem SAR vrijednosti povećava se opasnost smanjenja infiltracijske sposobnosti, ukoliko to povećanje ne prati i povećanje ukupne koncentracije soli

(Graf 1). Općenito uzevši, brzina infiltracije povećava se s povećanjem  $EC_w$ , a smanjuje se ili sa smanjenjem  $EC_w$  ili s povećanjem vrijednosti SAR.



Graf 1. Relativni odnos infiltracije vode u tlu uvjetovan salinitetom i SAR vrijednošću

Kada se za navodnjavanje koristi voda visoke koncentracije natrija moraju se primijeniti posebne mjere gospodarenja. Ion natrija iz otopine tla veže se na adsorpcijski kompleks tla i putem dvaju procesa, bubrenja i disperzije gline, dovodi do narušavanja strukture i promjene hidrauličkih svojstava. Mjere gospodarenja svode se na dodavanje gipsa ili drugih kemijskih spojeva koji će povećati koncentracije drugih kationa i time smanjiti mogućnost vezivanja natrija na adsorpcijski kompleks tla.

Međutim, kada se govori o kakvoći vode za navodnjavanje jednako treba biti oprezan i s primjenom vode niske koncentracije soli i niskog pH. Takva voda može djelovati korozivno za metalne dijelove sustava za navodnjavanje, ali i ispirati kalcij iz tla, a time narušiti strukturu tla.

Problem toksičnosti razlikuje se od zaslanjivanja po tome što se proces zbiva u samoj biljci i nije vezan za nedostatak vode. Nastaje pod utjecajem pojedinih iona koje je biljka primila i akumulirala najčešće u listu do koncentracije koja izaziva oštećenja. Veličina oštećenja ovisi o trajanju, koncentraciji, osjetljivosti kulture i

potrošnji vode. Najčešći toksični ioni u vodi za navodnjavanje, kako je prikazano u klasifikaciji u tablici 2 su ioni klor, natrij i bora.

Ion klor je najčešći uzročnik toksičnosti iz vode za navodnjavanje. Biljka ga prima s otopinom, kreće se transpiracijskim tokom i akumulira u listu. Kada se koncentracija u listu poveća iznad tolerantne granice javljaju se tipični simptomi oštećenja, kao što je palež lišća, sušenje pojedinih dijelova lista, a u težim slučajevima i defolijacija.

Navodnjavanje kišenjem vodom s visokom koncentracijom iona klor posebno je problematično zbog mogućnosti izravne apsorpcije putem lista i nakupljanja do koncentracija koja izazivaju oštećenja, a naročito ako je proces povezan s visokim temperaturama i niskom vlagom zraka.

Za razliku od toksičnosti iona klor, toksičnost iona natrij nije tako jednostavno utvrditi. Simptomi su slični, ali se palež lišća najprije pojavljuje na vanjskim rubovima, i to u pravilu na starijim listovima. Oštećenja se koncentrično šire prema sredini, a sam proces širenja u pravilu traje dugo.

Suprotno natriju, bor je element nužan za razvoj biljke. Biljka ga prima u vrlo malim količinama, a s povećanjem koncentracija postaje toksičan. Već u koncentracijama većim od 2 mg/l bor postaje toksičan za neke kulture. Bor je praktično sastojak svih prirodnih voda, a njegova koncentracija varira od pojave u tragovima do nekoliko mg/l. Površinske vode obično ne sadrže bor u štetnoj koncentraciji, ali ga često sadrže podzemne vode, naročito u području termalnih izvora.

Visoka koncentracija bikarbonata u vodi za navodnjavanje može prouzročiti taloženje soli u tlu. Taloženje kalcija i magnezija izaziva relativno povećanje koncentracija iona natrij u otopini tla. Navodnjavanje kišenjem vodom koja sadrži visoke koncentracije bikarbonata može doći do taloženja soli na listu, a što može uzrokovati smanjenje fotosinteze.

Valja naglasiti da je u priobalnom dijelu Hrvatske vrlo izražen problem zaslanjivanja i alkalizacije. Za navodnjavanje poljoprivrednih kultura koristi se zaslanjena voda, bilo površinska ili podzemna. Porijeklo soli povezano je s intruzijom morske vode u zaobalje. Problem je najizraženiji u dolini Neretve i Vranskom bazenu, vrlo značajnim područjima za poljoprivrednu proizvodnju, posebno povrća. Međutim, i u Istri i drugdje uz obalu poljoprivredni proizvođači koriste za navodnjavanje podzemnu vodu iz bunara koji mogu biti zaslanjeni. Napominjemo da se problemi

zaslanjivanja i alkalizacije podzemni i dugotrajni, a mogu imati pogubne posljedice. Zato ponovo treba naglasiti da gospodarenje sustavom za navodnjavanje počinje na izvoru vode analizom njene kakvoće.

Sve vode sadrže veće ili manje koncentracije mikroelemenata i teških metala. Problem teških metala, posebice kod korištenja otpadnih voda za navodnjavanje, može biti vrlo opasan, zato je u takvim slučajevima nužno učiniti analizu koncentracija teških metala.

### Literatura

Ayers R.S., D.W. Westcot (1985). Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Roma.

Bucks i Davis (1986).

Keller J., and R.D. Bliesner (1990). Sprinkle and Trickle Irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold.

Maas E.V., G.J. Hoffman (1977). Crop Salt Tolerance- Current assessment. Journal on Irrigation and Drainage Division. ASCE 103: 115-134.

Maas E.V.(1986). Salt Tolerance of Plants. Applied Agricultural Research No.1:12-25.

Pereira L.S., T.J. Trout (1999). Irrigation Systems and Irrigation Performance. In CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Land & Water Engineering. Volume I. American Society of Agricultural Engineers.

Romić D. (1995). Režim vode Vranskog jezera i procjena njene kakvoće za navodnjavanje. Poljoprivredna znanstvena smotra 60 (1/1995): 27-44.

Romić D., M. Romić (1997). Ratio of salt content added by irrigation with saline water and percolated from the root zone. Proceedings of the International Conference

on “Water management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean region”. Bari, Italy. Volume IV, p.275-284.

Szabolcs I.(1979). Review of research on salt affected soils. Natural Resources Research XV, UNESCO, Paris.

Tomić F. (1988): Navodnjavanje. Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske i Fakultet poljoprivrednih znanosti u Zagrebu, Zagreb.