

# Navodnjavanje



poljoprivredni  
fakultet  
osijek

Osječko-baranjska županija



TISAK:  
Kromopak d.o.o. Valpovo

NAKLADA:  
2000 komada

---

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Gradske i sveučilišne knjižnice  
Osijek pod brojem

ISBN 978-953-7243-15-9

Izdavanje ovog priručnika odobrio je Senat Sveučilišta J. J. Strossmayera u  
Osijeku svojom odlukom broj 13/09 od 27. travnja 2009. godine.

Sveučilište "J. J. Strossmayer"  
u Osijeku

Poljoprivredni fakultet  
Osijek

# ***NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH KULTURA***



prof. dr. sc. STJEPAN MADJAR  
prof. dr. sc. JASNA ŠOŠTARIĆ

Osijek, 2009.

**NAVODNJAVANJE**  
**POLJOPRIVREDNIH**  
**KULTURA**

- priručnik -

Prof. dr. sc. Stjepan Madjar – Poljoprivredni fakultet Osijek

Prof. dr. sc. Jasna Šoštarić - Poljoprivredni fakultet Osijek – glavni urednik

Lektor: Ivana Pašalić, prof.

Recenzenti:

1. Prof. dr. sc. Frane Tomić, prof. emeritus
2. Dr. sc. Gabrijel Ondrašek, - docent, Agronomski fakultet Zagreb
3. Dr. sc. Domagoj Rastija, - docent – Poljoprivredni fakultet Osijek
4. Mr. sc. Miroslav Dadić - Poljoprivredni fakultet Osijek

Osijek, ožujak 2009.

# NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH KULTURA

## SADRŽAJ:

|               |                                                             |           |
|---------------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>     | <b>POTREBE BILJAKA ZA VODOM I SADRŽAJ VODE U TLU .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.1</b>    | <b>POTREBE BILJAKA ZA VODOM .....</b>                       | <b>6</b>  |
| <b>1.2</b>    | <b>SADRŽAJ VODE U TLU .....</b>                             | <b>9</b>  |
| <b>1.2.1.</b> | <b>VRSTE VODE U TLU .....</b>                               | <b>10</b> |
|               | - VEZANA VODA                                               |           |
|               | - SLOBODNA VODA                                             |           |
| <b>1.2.2.</b> | <b>VODNE KONSTANTE TLA .....</b>                            | <b>11</b> |
|               | - POLJSKI VODNI KAPACITET                                   |           |
|               | - LENTOKAPILARNA VLAŽNOST TLA                               |           |
|               | - VLAŽNOST VENJENJA BILJAKA                                 |           |
|               | - MAKSIMALNI VODNI KAPACITET                                |           |
| <b>1.2.3.</b> | <b>KRETANJE VODE U TLU .....</b>                            | <b>12</b> |
|               | - KAPILARNO GIBANJE VODE                                    |           |
|               | - INFILTRACIJA VODE                                         |           |
|               | - FILTRACIJA VODE                                           |           |
| <b>1.2.4.</b> | <b>INTERVALI VLAŽNOSTI TLA .....</b>                        | <b>15</b> |
| <b>2.</b>     | <b>ISTRAŽIVAČKI RADOVI I PODLOGE ZA PROJEKTIRANJE I</b>     |           |
|               | <b>IZVOĐENJE SUSTAVA NAVODNJAVANJA .....</b>                | <b>17</b> |
| <b>2.1.</b>   | <b>PEDOLOŠKA I HIDROPEDOLOŠKA ISTRAŽIVANJA .....</b>        | <b>17</b> |
| <b>2.1.1.</b> | <b>PEDOLOŠKA ISTRAŽIVANJA .....</b>                         | <b>17</b> |
| <b>2.1.2.</b> | <b>HIDROPEDOLOŠKA ISTRAŽIVANJA .....</b>                    | <b>18</b> |
| <b>2.2.</b>   | <b>ANALIZA KLIMATSKIH PRILIKA PODRUČJA I IZRAČUNI</b>       |           |
|               | <b>POTREBNIH KOLIČINA VODE ZA NAVODNJAVANJE .....</b>       | <b>19</b> |
| <b>2.3.</b>   | <b>GEODETSKE PODLOGE, TOPOGRAFSKE KARTE I PLANOVI .....</b> | <b>19</b> |
| <b>2.4.</b>   | <b>ODREĐIVANJE PROIZVODNE ORIJENTACIJE U</b>                |           |
|               | <b>NAVODNJAVANJU .....</b>                                  | <b>20</b> |
|               | Ratarske i krmne kulture                                    |           |
|               | Industrijske kulture                                        |           |
|               | Povrćarstvo                                                 |           |
|               | Voćarstvo i vinogradarstvo                                  |           |
| <b>2.5.</b>   | <b>PROJEKTIRANJE SUSTAVA NAVODNJAVANJA I ODABIR</b>         |           |
|               | <b>OPREME .....</b>                                         | <b>21</b> |
|               | Idejno rješenje navodnjavanja                               |           |
|               | Idejni projekt navodnjavanja                                |           |
|               | Glavni i izvedbeni projekti                                 |           |
| <b>3.</b>     | <b>METODE, NAČINI I SUSTAVI NAVODNJAVANJA .....</b>         | <b>23</b> |
| <b>3.1.</b>   | <b>POVRŠINSKO NAVODNJAVANJE .....</b>                       | <b>24</b> |
| <b>3.1.1.</b> | <b>NAVODNJAVANJE BRAZDAMA .....</b>                         | <b>24</b> |
| <b>3.1.2.</b> | <b>NAVODNJAVANJE PRELIJEVANJEM .....</b>                    | <b>26</b> |
| <b>3.1.3.</b> | <b>NAVODNJAVANJE POTAPANJEM .....</b>                       | <b>27</b> |
|               | - SUSTAV KASETE                                             |           |
|               | - SUSTAV LOKVI                                              |           |
| <b>3.2.</b>   | <b>PODZEMNO NAVODNJAVANJE .....</b>                         | <b>28</b> |

|        |                                                                                              |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2. | NAVODNJAVANJE PODZEMNIM CIJEVIMA .....                                                       | 29 |
| 3.3.   | NAVODNJAVANJE IZ ZRAKA (POD TLAKOM) .....                                                    | 30 |
| 3.3.1. | NAVODNJAVANJE KIŠENJEM .....                                                                 | 31 |
| 3.3.2. | LOKALIZIRANO NAVODNJAVANJE .....                                                             | 38 |
|        | - NAVODNJAVANJE KAPANJEM („KAP PO KAP“)                                                      |    |
|        | - NAVODNJAVANJE MINI RASPRSKIVAČIMA („mali rasprskivači“)                                    |    |
| 4.     | ODREĐIVANJE ELEMENATA NAVODNJAVANJA .....                                                    | 44 |
| 4.1.   | NORMA NAVODNJAVANJA .....                                                                    | 45 |
| 4.1.1. | POTREBNA VODA .....                                                                          | 45 |
| 4.1.2. | RASPOLOŽIVA VODA .....                                                                       | 45 |
| 4.2.   | OBROK NAVODNJAVANJA .....                                                                    | 47 |
| 4.3.   | BROJ NAVODNJAVANJA .....                                                                     | 48 |
| 4.4.   | TRENTAK POČETKA NAVODNJAVANJA .....                                                          | 49 |
| 4.4.1. | ODREĐIVANJE TRENTKA NAVODNJAVANJA<br>PREMA VANJSKOM IZGLEDU BILJKE .....                     | 49 |
| 4.4.2. | ODREĐIVANJE TRENTKA NAVODNJAVANJA PREMA<br>UNUTARNJIM FIZIOLOŠKIM PROMJENAMA NA BILJCI ..... | 50 |
| 4.4.3. | ODREĐIVANJE TRENTKA NAVODNJAVANJA PREMA<br>TURNUSIMA NAVODNJAVANJA .....                     | 50 |
| 4.4.4. | ODREĐIVANJE TRENTKA NAVODNJAVANJA PREMA<br>KRITIČNOM RAZDOBLJU BILJKE ZA VODU .....          | 50 |
| 4.4.5. | ODREĐIVANJE TRENTKA NAVODNJAVANJA PREMA<br>PROCJENI VLAŽNOSTI TLA .....                      | 51 |
| 4.4.6. | ODREĐIVANJE TRENTKA NAVODNJAVANJA PREMA<br>STANJU VLAŽNOSTI TLA .....                        | 51 |
| 4.5.   | TRAJANJE NAVODNJAVANJA .....                                                                 | 51 |
| 4.6.   | UKUPNO POTREBNE KOLIČINE VODE ZA NAVODNJAVANJE .....                                         | 52 |
| 5.     | CROPWAT.....                                                                                 | 53 |
| 5.1.   | POTREBA BILJAKA ZA VODOM .....                                                               | 54 |
|        | MJESEČNE VRIJEDNOSTI $E_{to}$ I KOLIČINA OBORINA                                             |    |
|        | PODATCI O KULTURI                                                                            |    |
|        | IZRAČUN POTREBA BILJAKA ZA VODOM                                                             |    |
| 5.2.   | POTREBA ZA NAVODNJAVANJEM .....                                                              | 55 |
| 5.3.   | RASPORED NAVODNJAVANJA .....                                                                 | 55 |
|        | OPTIMALNO NAVODNJAVANJE                                                                      |    |
|        | PRAKTIČNO NAVODNJAVANJE                                                                      |    |
| 6.     | NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH KULTURA .....                                                  | 57 |
| 6.1.   | NAVODNJAVANJE KUKURUZA .....                                                                 | 57 |
| 6.1.1. | NAVODNJAVANJE SJEMENSKOG KUKURUZA .....                                                      | 57 |
| 6.2.   | NAVODNJAVANJE ŠEĆERNE REPE .....                                                             | 59 |
| 6.3.   | NAVODNJAVANJE SUNCOKRETA .....                                                               | 61 |
| 6.4.   | NAVODNJAVANJE LUCERNE .....                                                                  | 62 |
| 7.     | NAVODNJAVANJE POVRĆA .....                                                                   | 64 |
| 7.1.   | NAVODNJAVANJE KUPUSNJAČA .....                                                               | 64 |

|      |                                                                 |    |
|------|-----------------------------------------------------------------|----|
|      | 7.1.1. NAVODNJAVANJE KUPUSA .....                               | 64 |
| 7.2. | NAVODNJAVANJE POMOČNICA .....                                   | 65 |
|      | 7.2.1. NAVODNJAVANJE RAJČICE .....                              | 65 |
|      | 7.2.2. NAVODNJAVANJE PAPRIKE .....                              | 66 |
| 7.3. | NAVODNJAVANJE LISNATOG POVRČA .....                             | 67 |
|      | 7.3.1. NAVODNJAVANJE SALATE .....                               | 67 |
|      | 7.3.2. NAVODNJAVANJE ŠPINATA .....                              | 67 |
| 7.4. | NAVODNJAVANJE LUKOVICA .....                                    | 68 |
|      | 7.4.1. NAVODNJAVANJE CRVENOG LUKA .....                         | 68 |
|      | 7.4.2. NAVODNJAVANJE BIJELOG LUKA .....                         | 68 |
| 8.   | NAVODNJAVANJE U ZAŠTIĆENIM (KONTROLIRANIM)<br>PROSTORIMA .....  | 69 |
|      | Sustav navodnjavanja „kap po kap“                               |    |
|      | Fertigacija                                                     |    |
|      | DOZIRANJE VODE PRI NAVODNJAVANJU U ZAŠTIĆENOM<br>PROSTORU ..... | 71 |
|      | ODREĐIVANJE OBROKA NAVODNJAVANJA                                |    |
|      | ODREĐIVANJE TRENUTKA POČETKA NAVODNJAVANJA                      |    |
| 9.   | KAKVOĆA VODE ZA NAVODNJAVANJE .....                             | 73 |
| 10.  | LITERATURA .....                                                | 75 |
| 11.  | POPIS SLIKA .....                                               | 76 |

# POTREBE BILJAKA ZA VODOM I SADRŽAJ VODE U TLU

## UVOD

U osnovi biljne proizvodnje je poljoprivredno zemljište kao prirodno tijelo u kojem se odvijaju svi životni procesi kulturnih biljaka. Dobro uređeno tlo je temeljni proizvodni uvjet za dobru poljoprivredu i život čovjeka. Zemljište i voda su nerazdvojni i čimbenici su biljnog, životinjskog i ljudskog postojanja.

Voda je neprestano prisutna u tlu ili na njegovoj površini. Sadržaj vode u tlu je promjenjiv u zavisnosti od vremenskih prilika i potrošnje vode od strane biljaka. Često je voda u tlu u suvišku, tako da nepovoljno utječe na tlo i biljku. Druga je krajnost da vode u tlu nema dovoljno za normalan rast i razvoj kulturnog bilja što se negativno odražava na njihove urode.

Poljoprivrednim zemljištima koja nemaju dovoljno vode za uzgoj poljoprivrednih kultura tijekom cijele vegetacije ili samo u određenom razdoblju rasta i razvitka, vodu dodajemo na umjetni način. Sve mjere i radovi kojima se svjesno i na umjetni način povećava sadržaj vode u tlu s ciljem uzgoja poljoprivrednih kultura nazivamo navodnjavanje.

## 1.1. POTREBE BILJAKA ZA VODOM

Voda ima vrlo značajnu ulogu u životu biljke i za procese u tlu. Biljke trebaju određenu količinu vode za svoje životne procese kroz cijelo vrijeme vegetacije. Potrebe biljnih kultura za vodom zavise o fazama vegetacijskog rasta i razvoja te klimatskim i vodnim prilikama lokaliteta uzgoja. Sadržaj raspoložive vode u tlu vrlo promjenjiv. U našim uvjetima proizvodnje i kod većine poljoprivrednih kultura, sadržaj vode u tlu je često suprotan od potreba biljaka, tako da je u doba najvećih zahtjeva za vodom njen priljev u tlo najmanji.

Kulturna biljka usvaja vodu za svoje životne potrebe uglavnom iz tla pomoću korjenovog sustava (a manjim dijelom i preko lista). Zajedno s vodom ona iz tla prima i otopljena biljna hranjiva što znači da biljka istovremeno „pije i jede“.

Najveću količinu usvojene vode biljka troši na procese transpiracije i izgradnju organske tvari putem fotosinteze.

S agronomskog stajališta bitno je stanje vlažnosti i sadržaj vode u površinskom sloju tla od jednoga do najviše dva metra dubine. Taj se sloj naziva „poljoprivredni“ ili „agrološki“ jer se u njemu nalazi glavna masa korijenja većine poljoprivrednih kultura.

Voda u tlu uglavnom potječe od oborina ili navodnjavanja, a samo manjim dijelom iz podzemnih voda. S obzirom na veliko značenje vode kao glavnog biološkog čimbenika, za postizanja punog potencijala poljoprivrednih kultura nužno je u proizvodnoj praksi dobro gospodariti vodom u tlu, odnosno održavati povoljan vodni režim poljoprivrednog (površinskog) sloja tla.

Poznavanje potreba kultura za vodom tijekom vegetacijskog razdoblja ključan je podatak za provedbu navodnjavanja te ga je nužno utvrditi već kod planiranja i pripreme za navodnjavanje, odnosno pri izboru proizvodne orijentacije u uvjetima navodnjavanja. Specifične potrebe pojedine kulture za vodom mogu se odrediti eksperimentalnim ili proračunskim metodama.

Eksperimentalne metode određivanja potreba poljoprivrednih kultura za vodom podrazumijevaju dugotrajne, višegodišnje egzaktno pokuse koji se obavljaju uglavnom u znanstvenoistraživačkim ustanovama. Rezultati i spoznaje eksperimentalnih metoda se koriste za izradu proračunskih metoda (modela), u obliku kompjutorskih programa koji su lako dostupni stručnjacima i proizvođačima koji se bave navodnjavanjem. Jedan od najčešće korištenih modela za utvrđivanje potrebe za vodom poljoprivrednih kultura je računalni model „CROPWAT“ koji su preporučili stručnjaci FAO-a (Smith, 1992.).

Za izračun su potrebni sljedeći podaci: karakteristike područja (geografske širine, dužine i nadmorske visine), kulture koje će se navodnjavati te klimatski pokazatelji (srednje mjesečne temperature zraka °C, brzina vjetra m/s, vlažnost zraka %, insolacija i količine oborina u mm - koji se mogu pribaviti u Državnom hidrometeorološkom zavodu).

Proračunskim metodama se dolazi do potreba za vodom poljoprivrednih kultura putem vrijednosti „referentne evapotranspiracije“ (ET<sub>o</sub>) i koeficijenta određene kulture (kc) prema sljedećem izrazu:

$$ET_c = kc \times ET_o$$

gdje su vrijednosti sljedeće;

ET<sub>c</sub> = evapotranspiracija kulture (mm/dan)  
ET<sub>o</sub> = referentna evapotranspiracija (mm/dan)  
kc = koeficijent kulture

Referentna evapotranspiracija (ET<sub>o</sub>) definira se kao vrijednost evapotranspiracije s površine od 8 cm do 15 cm jednolično visokog i aktivno uzgajanog travnjaka koji potpuno zasjenjuje površinu i ne oskudijeva s vodom.

Najveći dio potrebnih količina vode za uzgajane kulture na otvorenom polju u našim klimatskim prilikama tijekom vegetacije dolaze iz oborina. Razlika između ukupne potrebe za vodom poljoprivrednih kultura i priljeva vode oborinama (efektivnih ili korisnih za biljku), čini deficit vode koji treba nadoknaditi navodnjavanjem.

Pojednostavljeno, deficit vode na nekom području može se izračunati putem sljedećeg odnosa:

$$D_v = ET_o - O_{ef}$$

gdje su vrijednosti sljedeće:

D<sub>v</sub> = deficit (manjak) vode  
ET<sub>o</sub> = referentna evapotranspiracija (mm)  
O<sub>ef</sub> = efektivne oborine (mm)

Za primjer izračuna deficita vode, navodimo vrijednosti s određenih meteoroloških postaja na području Slavonije i Baranje (Tablica 1).

Tablica 1: Prosječna godišnja referentna evapotranspiracija (ET<sub>o</sub>), efektivne oborine (O<sub>ef</sub>) i deficit vode (D<sub>v</sub>) za Slavoniju i Baranju

| Meteorološka postaja | ET <sub>o</sub> | O <sub>ef</sub> | D <sub>v</sub> |
|----------------------|-----------------|-----------------|----------------|
|                      | mm              |                 |                |
| Brestovac-Belje      | 709             | 521             | 188            |
| Osijek               | 789             | 595             | 194            |
| Gradište-Županja     | 817             | 599             | 218            |
| Slavonski Brod       | 729             | 668             | 61             |

Izvor podataka: Nacionalni projekt navodnjavanja u RH (NAPNAV, 2006. Ur. Romić i Marušić. Agronomski fakultet, Zagreb)

Kod uzgoja kultura u zaštićenim prostorima (staklenici, plastenici, tuneli i sl.) ukupne potrebe poljoprivrednih kultura za vodom treba u cijelosti „podmiriti“ navodnjavanjem jer nema priljeva oborina.

Zbog nedostatka raspoložive vode u tlu („deficita“) poljoprivredne kulture smanjuju svoje urode, odnosno dolazi do redukcije prinosa i kvalitete plodova.

Kao primjer izračuna nedostatka vode te redukcije prinosa nekih poljoprivrednih kultura navodimo neke vrijednosti za područje Slavonije i Baranje (Tablica 2).

Tablica 2: Deficit vode (Dv) u prosječnoj i sušnoj godini, te redukcija prinosa (%) za lagano i teksturno teže tlo za neke kulture u Slavonskoj i Baranjskoj

| Meteorološka postaja | Kultura                   | Dv (mm)   |      | Redukcija prinosa    |      |                     |      |
|----------------------|---------------------------|-----------|------|----------------------|------|---------------------|------|
|                      |                           |           |      | Lagano tlo (50 mm/m) |      | Teže tlo (100 mm/m) |      |
|                      |                           | Prosječna | Suha | Prosječna            | Suha | Prosječna           | Suha |
| Brestovac-Belje      | Kukuruz                   | 183       | 251  | 35                   | 55   | 28                  | 46   |
|                      | Šećerna repa              | 231       | 307  | 36                   | 53   | 28                  | 47   |
|                      | Rajčica                   | 184       | 229  | 38                   | 50   | 30                  | 41   |
|                      | Jabuka bez zatravnjivanja | 165       | 255  | 24                   | 44   | 19                  | 37   |
|                      | Jabuka sa zatravnjivanjem | 267       | 366  | 36                   | 53   | 31                  | 47   |
| Osijek               | Kukuruz                   | 186       | 296  | 35                   | 61   | 27                  | 55   |
|                      | Šećerna repa              | 246       | 356  | 36                   | 59   | 29                  | 52   |
|                      | Rajčica                   | 189       | 266  | 37                   | 55   | 29                  | 48   |
|                      | Jabuka bez zatravnjivanja | 178       | 299  | 25                   | 49   | 20                  | 43   |
|                      | Jabuka sa zatravnjivanjem | 287       | 422  | 36                   | 56   | 32                  | 51   |
| Gradište-Županja     | Kukuruz                   | 191       | 314  | 34                   | 67   | 26                  | 61   |
|                      | Šećerna repa              | 260       | 383  | 37                   | 64   | 30                  | 58   |
|                      | Rajčica                   | 191       | 286  | 36                   | 58   | 29                  | 54   |
|                      | Jabuka bez zatravnjivanja | 196       | 328  | 27                   | 54   | 22                  | 48   |
|                      | Jabuka sa zatravnjivanjem | 307       | 458  | 37                   | 61   | 33                  | 56   |
| Slavonski Brod       | Kukuruz                   | 130       | 228  | 21                   | 48   | 13                  | 42   |
|                      | Šećerna repa              | 182       | 296  | 24                   | 50   | 17                  | 42   |
|                      | Rajčica                   | 140       | 215  | 25                   | 45   | 18                  | 39   |
|                      | Jabuka bez zatravnjivanja | 121       | 238  | 14                   | 41   | 9                   | 35   |
|                      | Jabuka sa zatravnjivanjem | 214       | 343  | 25                   | 49   | 21                  | 44   |

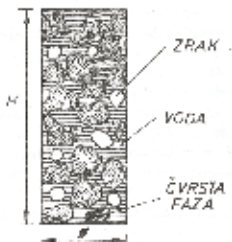
Izvor podataka: Nacionalni projekt navodnjavanja u Republici Hrvatskoj (NAPNAV, 2006. Ur. Romić i Marušić. Agronomski fakultet, Zagreb)

## 1.2. SADRŽAJ VODE U TLU

Tlo je prirodno tijelo mineralnog i organskog sastava podijeljeno na horizonte različite debljine. Nastalo je postupnim razvojem iz matične stijene pod utjecajem pedogenetskih čimbenika i procesa. Ti se procesi odvijaju milijunima godina i neprestano su u tijeku, nezavisno od ljudskih želja.

Tlo se sastoji od čvrste (čestice tla), tekuće (voda) i plinovite faze (zraka) u kojem žive mikroorganizmi tla, životinje i biljke. Između čestica tla izgrađen je porozni prostor (pore tla) različitog oblika i dimenzija u kojem se nalazi voda, zrak ili neki drugi plin. Taj porozni

prostor je u ovisnosti o tipu tla i njegovim fizikalnim značajkama vrlo različit. Zavisi i od tipa tla i njegova mehaničkog sastava i predstavlja veliku prirodnu zalihu za vodu ili za zrak. Tlo je, u biti, rastresit supstrat koji ima svojstvo upijanja vode iz prirodnih oborina, navodnjavanja ili površinskih vodotoka, propušta je kroz svoj profil ili je zadržava, čineći tako najveća „skladišta“ vode za potrebe kulturnih biljaka (Slika 1).



Slika 1: Prikaz građe tla

Voda u tlu je smještena u porama tla koje čine šupljine, a nalaze se između čestica tla i strukturnih agregata. Za praktične svrhe pore tla se dijele na manje ili mikropore (kapilarne pore) u kojima se zadržava voda i krupnije ili makropore (nekapilarne pore) u kojima se nalazi zrak dok voda u njima može biti samo kraće vrijeme. Sa stajališta poljoprivredne proizvodnje važan je sadržaj ukupnih pora, ali i odnosa među njima. Najpovoljniji je odnos kapilarnih i nekapilarnih pora 3:2 do 1:1.

Sve pore u nekom tlu čine ukupnu poroznost tla koji se izražava postotcima. U obradivim tlima se ukupni poroznost kreće od 50% do 65% i varira u zavisnosti od tipa tla i njegovog mehaničkog sastava. Pore u tlu imaju različite promjere, a također i funkcije u odnosu na sadržaj vode u njemu (Tablica 3).

Tablica 3: Podjela pora prema veličini promjera i njihova uloga u odnosu na vodu u tlu

| Naziv pora | Funkcije u tlu                | Promjer pora u mikronima |
|------------|-------------------------------|--------------------------|
| Vrlo grube | Brzo dreniraju vodu           | > 50                     |
| Grube      | Sporo dreniraju vodu          | 50 do 10                 |
| Srednje    | Korisna (kapilarna) za biljke | 10 do 0,2                |
| Fine       | Voda nepristupačna za biljke  | < 0,2                    |

### 1.2.1. VRSTE VODE U TLU

Čim voda dospije u tlo podliježe određenim zakonitostima u pogledu kretanja i zadržavanja. S obzirom na pokretljivost, voda se u tlu može podijeliti na;

- VEZANU ili NEPOKRETNU
- SLOBODNU ili POKRETNU

VEZANA VODA – to je voda koja se drži velikim silama za čestice tla ili unutar pora. Ona je nepokretna i obično je nepristupačna biljkama. Unutar vezane vode razlikuju se sljedeće kategorije vode:

Kemijski vezana voda je dio čvrste faze tla, te je kemijskim vezama vezana za čestice tla.

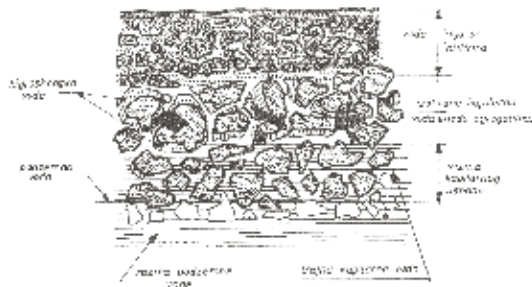
Higroskopska voda je adsorbirana na česticama tla znatnim fizičkim silama.

Opnena ili filmska voda obavija čestice tla u obliku tanje ili deblje opne. Vezana je čvrsto površinskim silama, ali se ponekad slabo giba od čestice do čestice tla. Djelomično je korisna za biljke.

SLOBODNA VODA – to je voda koja se drži manjim silama za čestice tla, pokretna je i kreće se u poroznom tlu u svim smjerovima. Pristupačna je korijenju biljaka, a razlikuju se dvije kategorije vode:

Kapilarna voda koja ispunjava fine kapilarne pore tla te se drži ili kreće u njima pod utjecajem kapilarnih sila. Vrlo je pokretna u svim smjerovima i pristupačna je za kulturne biljke. Ona čini najveći i najznačajniju zalihu vode u tlu za sve biljke i zato je od posebne važnosti za poljoprivrednu praksu.

Gravitacijska ili cijedna voda je najpokretnija voda u tlu. Ulazi u njega prirodnim oborinama, navodnjavanjem ili plavljenjem i ne zadržava se u njemu trajnije, nego protječe i cijedi se u podzemnu vodu. Prolazi kroz krupne (nekapilarne) pore tla i giba se prema dolje pod utjecajem sile teže. Korisna je za biljke, ali samo u kratkom vremenu prolaska kroz zonu korjenovog sustava (Slika 2).



Slika 2: Presjek profila poljoprivrednog tla

### 1.2.2. VODNE KONSTANTE TLA

Teško je odrediti granice između pojedinih oblika i kategorija vode u tlu. Da bi se ipak razlikovale uvedene su u praksu vodne ili hidropedološke konstante tla. One predstavljaju sadržaj vode u tlu pod određenim uvjetima koji se mogu točno odrediti.

Vrijednosti vodnih konstanti zavise od fizikalnih i kemijskih svojstava tla kao i od primjene agrotehničkih mjera. One su promjenjive (iako nose naziv konstante, koji uobičajeno označava nešto čvrsto, stalno, nepromjenjivo) u zavisnosti od prihoda (ulaska) i rashoda (izlaska) vode u tlu.

Za reguliranje vodnoga režima u tlu najvažnije su vodne konstante; poljski vodni kapacitet tla (PVK), lentokapilarna vlažnost (LKV), vlažnost venjenja biljaka ili točka venuća (VV) i maksimalni kapacitet tla za vodu (Max VK). Između njih nema čvrstih granica i one se međusobno preklapaju.

## POLJSKI VODNI KAPACITET

Sadržaj vode koji ostaje u tlu 24 do 48 sati nakon obilnih kiša, navodnjavanja ili plavljenja naziva se poljski vodni kapacitet (- kratica PVK, sinonim: retencijski kapacitet tla za vodu). Naziv „poljski“ uveden je zbog toga jer se vodni kapacitet određuje u uvjetima u polju („in situ“).

Poljski vodni kapacitet je visoko stanje vlažnosti tla i vrlo pogodno za uzgoj većine ratarskih, povrćarskih, voćarskih i drugih kultura. U prirodnim uvjetima otvorenog polja ovo povoljno stanje vlažnosti tla traje kraće vrijeme jer se tlo suši. Vremenski dulje održavanje vlažnosti tla oko poljskog vodnog kapaciteta moguće je putem sustava za navodnjavanje, a posebno u zatvorenim proizvodnim prostorima (staklenicima i plastenicima).

U melioracijskoj praksi se smatra da je poljski vodni kapacitet gornja granica optimalne vlažnosti tla. U navodnjavanoj poljoprivredi se prestaje sa dovođenjem vode kada tlo dođe u stanje vlažnosti poljskog vodnog kapaciteta.

Vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta ovise o svojstvima tla, naročito mehaničkog sastava strukture tla. Kod većine naših lakših tala (pjeskovita) iznosi 10% do 20%, za srednje teška tla (ilovasta) 20% do 30%, a za teška (glinasta) od 30% do 40 % i više volumnog udjela.

Sadržaj vode u tlu kod poljskog vodnog kapaciteta je velik, a sile s kojima se voda drži u tlu (u porama) su male i zato je voda vrlo pristupačna biljkama koje žive „luksuzno“ i u obilju lakopristupačne vode. Sile držanja vode u tlu su male i kreću se od 0,1 bara do 0,3 bara (oko 0,003 MPa).

## LENTOKAPILARNA VLAŽNOST TLA

Sadržaj vode u tlu kod kojega dolazi do usporavanja gibanja vode u kapilarama, te počinje otežana opskrba biljaka s vodom, naziva se lentokapilarna vlažnost tla (- kratica LKV).

Ona čini granicu između vezane i slobodne vode i približno iznosi kod većine tala oko 60% do 70 % vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta tla.

Važna je u praksi navodnjavanja jer se uzima da je donja granica optimalne vlažnosti pa je pokazatelj za određivanje početka navodnjavanja.

Lentokapilarna vlažnost je nisko stanje vlažnosti tla i nepogodno stanište za kulturno bilje, koje počinje trpjeti („žedati“) zbog nedostatka pristupačnih oblika vode. Biljke doživljavaju početni vodni stres, koji se negativno odražava na njihov urod i kvalitetu ploda.

Sadržaj vode u tlu kod lentokapilarne vlažnosti je mali i oskudan, a sile s kojima se voda drži u tlu su povećane i zato je voda teže pristupačna korijenju kulturnih biljaka. Voda se u tlu drži silama između 6 bara do 7 bara (0,6 Mpa do 0,7 Mpa).

## VLAŽNOST VENJENJA BILJAKA

Sadržaj vode u tlu pri kojem kulturne biljke nepovratno venu i ugibaju naziva se vlažnost venjenja biljaka (- kratica VV, sinonim: točka venuća biljaka). To su prilike kada korijenje u tlu nema na raspolaganju dovoljno vode za održavanje fizioloških procesa. Vode je malo, a ona se drži velikim silama u finim porama ili oko čestica tla - silama koje su iznad 15 bara (1,5 MPa). Kod vlažnosti venjenja u tlu ostaje određena količina vode koja zavisi o vrsti tla i njegovoj strukturi. U pjeskovitim tlima taj sadržaj vode iznosi 3% do 4% kod srednje teških tala 7% do 8%, a kod teških, glinastih tala od 13% do 17% volumnog udjela.

U poljoprivrednoj praksi se vlažnost tla mora tako održavati, da se voda u tlu nikada ne spusti na vlažnost venuća biljaka, jer tada nema uroda niti plodova!

## MAKSIMALNI VODNI KAPACITET

Maksimalni vodni kapacitet tla je maksimalna količina vode (- kratica Max VK) koju neko tlo može primiti, ali je ne može zadržavati. U prirodnim uvjetima to se događa nakon dugotrajnih kiša ili plavljenja iz okolnih vodotoka (jesen, rano proljeće), tada je tlo potpuno zasićeno i sve su pore ispunjene vodom, a zrak je istisnut iz pora. Kada je postignut maksimalni vodni kapacitet, dio vode je slobodan pa se cijedi u dublje slojeve djelovanjem sile gravitacije.

Ovo stanje vlažnosti tla je vrlo nepovoljno za poljoprivredne kulture jer biljke trpe od suviše vode. Tlo je prevlažno, a u porama nema zraka toliko nužnog za životne procese biljaka i one se pomalo „guše“. Situacija je pogotovo loša na težim tipovima tala gdje ovo stanje vlažnosti može potrajati dulje vrijeme te dolazi do propadanja usjeva i stvaranja „plješina“ na oranicama.

Da bi se izbjegle česte pojave prevlaživanja tla, nužne su mjere odvodnjavanja kojima se reguliraju vodo-zračni odnosi u poljoprivrednom zemljištu.

### 1.2.3. KRETANJE VODE U TLU

Voda se u tlu stalno kreće kroz pore u svim smjerovima i nikada nije u mirovanju. Prilikom prirodnog (oborinama) ili umjetnog (navodnjavanjem) vlaženja tla, voda se kreće prema dolje (descendentno), a prema gore (ascendentno) kada se tlo suši. Kreće se i bočno (lateralno) uslijed djelovanja kapilarnih sila.

## KAPILARNO GIBANJE VODE

Kapilarno gibanje je uzrokovano razlikom u kapilarnom potencijalu tla. Voda se kreće iz zone veće vlažnosti prema zoni manje vlažnosti kroz kapilarne pore.

Uslijed maloga promjera i dimenzija kapilara u njima se javlja efekt podizanja vode iz dubljih u pliće slojeve tla. Tako se, na primjer, voda kapilarno podiže sa razine podzemnih voda i do oraničnog sloja u zonu korijenja što je u sušnim prilikama vrlo korisno za biljke.

Visina kapilarnog uspona ovisi prvenstveno o mehaničkom sastavu tla. Kod lakših, pjeskovitih tala je visina podizanja vode manja, a najveća je kod teških glinastih tala.

## INFILTRACIJA VODE

Infiltracija ili upijanje je proces ulaska vode u tlo iz oborina, plavljenja ili navodnjavanja. Infiltracijom se tlo vlaži od površine prema dubljim slojevima djelovanjem sile gravitacije i kapilarnih sila.

Najveća infiltracija je u početku procesa kada je tlo suho i pore su prazne (u njima je samo zrak), a s vremenom se smanjuje. Nakon nekog vremena zasiti se vodom određeni sloj tla pa vrijednost infiltracije postaje stalna veličina (nakon 3 do 5 sati upijanja).

Infiltracija zavisi o fizikalnim osobinama tla, mehaničkom sastavu, porozitetu i trenutnom stanju vlažnosti tla. U dobro strukturiranim i dobro obrađenim tlima vrijednosti infiltracije su vrlo povoljne. Stoga je obrada poljoprivrednih površina vrlo značajna za održavanje povoljnih infiltracijskih svojstava tla.

Infiltracija može biti „trenutačna“, a izražava se količinom vode koja se upije u tlo u jedinici vremena (mm/sat) i „sumarna“ koja predstavlja ukupnu količinu vode upijenu u tlo nakon određenog vremena (mm).

Lakša tla imaju veću moć upijanja vode od težih tala o čemu treba voditi brigu u praksi navodnjavanja poljoprivrednih kultura.

Poznavanje vrijednosti infiltracije je vrlo važan parametar radi reguliranja vode u tlu prilikom navodnjavanja poljoprivrednih proizvodnih prostora u otvorenom polju, staklenicama i plastenicima. Od infiltracijske sposobnosti zavisi je li tlo uopće pogodno za navodnjavanje, a ona utječe i na izbor načina navodnjavanja. Zato je prije planiranja i projektiranja sustava za navodnjavanje nužno ispitati i odrediti infiltracijske sposobnosti tla. Poznavajući infiltraciju nekog tla, moguće je uskladiti količine i intenzitet dodavanja vode prilikom navodnjavanja. (Tablica 4).

Tablica 4: Vrijednosti trenutne infiltracije u zavisnosti od mehaničkog sastava tla

| Vrsta tla          | Infiltracija (trenutna) mm/sat |                     |
|--------------------|--------------------------------|---------------------|
|                    | Moguće vrijednosti             | Srednje vrijednosti |
| Pijesak            | 25 do 250                      | 50                  |
| Pjeskovita ilovača | 13 do 75                       | 25                  |
| Ilovača            | 8 do 20                        | 13                  |
| Glinovita ilovača  | 3 do 15                        | 8                   |
| Glina              | 1,5 do 10                      | 5                   |
| Teška glina        | 0,3 do 5                       | 3                   |

## FILTRACIJA VODE

Filtracija je gibanje vode kroz tlo zasićeno vodom. Ona se odvija nakon završene infiltracije kada su sve pore tla ispunjene vodom. Sposobnost filtracije vode zavisi od svojstava tla, pa tako tla lakšeg mehaničkog sastava i krupnijih čestica, dobro strukturirana imaju veću filtraciju, odnosno vodopropusnost. Teška tla s velikim učešćem gline i zbijenih horizonata imaju lošu vodopropusnost. Također kakvoća vode, naročito salinitet ili alkalitet, može imati značajni učinak na razinu filtracije vode u takvim tlima.

Pri filtraciji voda se uglavnom kreće kroz makropore, te ovisi o broju, oblicima i rasporedu makropora u tlu. U struci i literaturi susreću se još i sljedeći termini, sinonimi za proces filtracije vode: vodopropusnost, koeficijent filtracije (k), hidraulička provodljivost, propusnost tla za vodu, a izražava se u jedinicama mm/s, m/dan. Vrijednosti filtracije tla su značajni parametri u praksi odvodnjavanja poljoprivrednih zemljišta (Tablica 5).

Tablica 5: Klasifikacija vodopropusnosti tla

| Ocjena vodopropusnosti tla | Brzina vodopropusnosti cm/dan |
|----------------------------|-------------------------------|
| Izuzetno slaba             | <1                            |
| Vrlo slaba                 | 1 do 6                        |
| Slaba                      | 6 do 15                       |
| Osrednja                   | 15 do 40                      |
| Visoka                     | 40 do 100                     |
| Vrlo visoka                | 100 do 250                    |
| Izuzetno niska             | > 250                         |

### 1.2.4. INTERVALI VLAŽNOSTI TLA

Jedan od osnovnih zadataka navodnjavanja je održavanje povoljne vlažnosti tla u rizosfernom sloju za uzgoj poljoprivrednih kultura. Postizanje stabilnih i visokih prinosa u biljnoj proizvodnji ponajviše zavisi od sadržaja vode u tlu, te je zato nastojimo navodnjavanjem održavati unutar optimalnih vrijednosti. Premale količine vode u tlu štetne su za kulturne biljke isto kao i prevelike količine vode.

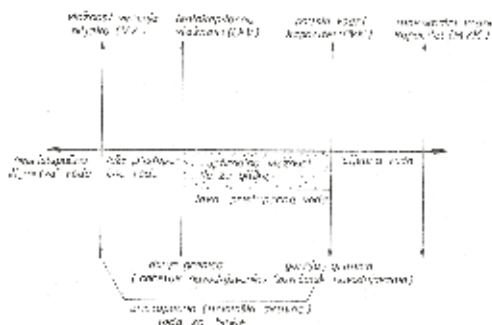
U praksi racionalnog navodnjavanja poljoprivrednih kultura pokušava se sadržaj vode u tlu (vlažnost tla) održavati u intervalu optimalne vlažnosti, koliko je to moguće postići modernim

tehničkim sustavima navodnjavanja. Vrlo su različita stručna mišljenja u vezi s tim koji su to intervali vlažnosti tla najpovoljniji u odnosu na zemljišne osobine i vrste kulture. Ipak, prevladava gledište da je povoljan sadržaj vode u tlu za većinu poljoprivrednih kultura intervalu između poljskog vodnog kapaciteta i lentokapilarne vlažnosti. Optimalna vlažnost tla za uzgoj kulturnih biljaka zavisi od fizikalnih i vodnih osobina tla te razvojne faze biljaka.

Interval optimalne vlažnosti tla za biljke se podudara sa lako pristupačnom vodom u tlu. Međutim, voda u tlu unutar ovoga intervala nije jednako pristupačna biljkama što potječe od različitih sila kojima se ona u njemu drži.

Što se stanje vlage više približava poljskom vodnom kapacitetu, sile držanja vode su manje, a biljke je lakše koriste. I obrnuto, što je voda bliža lentokapilarnoj vlažnosti – nepristupačnija je korišćenoj kulturi.

Vodne konstante između kojih se nalazi optimalni sadržaj vode u tlu za biljke su ujedno njezine granične vrijednosti. Tako je poljski vodni kapacitet gornja granica, a lentokapilarna vlažnost donja granica optimalne vlažnosti tla za poljoprivredne kulture u navodnjavanju (Slika 3).



Slika 3: Intervali optimalne vlažnosti tla za uzgoj poljoprivrednih kultura u uvjetima navodnjavanja

Sadržaj vode u tlu pri kojem se započinje sa navodnjavanjem naziva se tehnički minimum vlažnosti. Obično se kao tehnički minimum uzimaju vlažnosti tla 60% do 70 % od vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta, a to je nešto iznad vrijednosti lentokapilarne vlažnosti.

Kada sadržaj vode u tlu padne na tehnički minimum vlažnosti, to je trenutak kada se uključuje sustav za navodnjavanje kojim se dodaje voda do poljskog vodnog kapaciteta. On predstavlja tehnički maksimum vlažnosti zemljišta kada se isključuje sustav za navodnjavanje. Za laka i srednje teška tla tehnički maksimum odgovara poljskom vodnom kapacitetu, ali za teška i vrlo teška tla mora biti nešto ispod njega da se osigura potrebna količina zraka u porama. Sva voda dodana preko vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta je suvišna i gravitacijski se cijedi u dublje slojeve tla.

Ispravno određivanje trenutka kada treba početi sa navodnjavanjem je važan agronomski problem u primjeni navodnjavanja. Ako se trenutak početka navodnjavanja određuje stihijski „od oka“, „volje“ ili iskustva tehnologa te poljoprivrednog proizvođača, tada slijedi neracionalno i neplansko dodavanje vode. Rijetki su praktičari koji mogu pogoditi trenutak navodnjavanja bez egzaktnih mjerenja ili praćenja stanja kultura u polju.

## **2. ISTRAŽIVAČKI RADOVI I PODLOGE ZA PROJEKTIRANJE I IZVOĐENJE SUSTAVA NAVODNJAVANJA**

Prije svake odluke o izvođenju navodnjavanja u praksi treba obaviti pripreme i istraživačke radove. Iza toga slijedi izrada projekta. Na temelju istraživačko-projektne dokumentacije pristupa se drugoj fazi radova koja obuhvaća izvođenje ili izgradnju sustava za navodnjavanje. Tek tada slijedi faza korištenja i održavanja sustava i opreme u praksi intenzivne navodnjavane poljoprivrede. Naglašavamo veliku važnost i značaj svih pripremnih i istražnih radova, izrade studijskih podloga i dokumentacija, pažljivog odabira proizvodne orijentacije u budućoj poljoprivredi s navodnjavanjem, projektiranju i izboru tehničkog sustava navodnjavanja.

Istraživačku i projektnu dokumentaciju moguće je raditi na tri razine: idejno rješenje, idejni projekt, te glavni ili izvedbeni projekt navodnjavanja.

Istraživački radovi i izrada studija i podloga za adekvatne projektne dokumentacije su sljedeći:

- pedološka i hidropedološka istraživanja;
- analiza klimatskih prilika područja i izračun potrebnih količina vode za navodnjavanje;
- geodetske podloge, topografske karte i planovi;
- određivanje proizvodne orijentacije navodnjavanju;
- projektiranje sustava navodnjavanja i odabir opreme;

### **2.1. PEDOLOŠKA I HIDROPEDOLOŠKA ISTRAŽIVANJA**

Prvi radovi u planiranju navodnjavanja jesu ispitivanje tla na terenu gdje se namjerava primijeniti navodnjavanje. Obavljaju se pedološka i hidropedološka istraživanja na terenu i u laboratoriju, a prije svega se izvrši pregled terena od strane istraživača.

#### **2.1.1. PEDOLOŠKA ISTRAŽIVANJA**

Na istraživanoj površini izvrši se sondiranje terena standardnim pedološkim sondama do dubine od 2 m. Prosječno se koristi jedna sonda na 80 ha do 100 ha za idejno rješenje, jedna sonda na 25 ha do 30 ha za idejni projekt i jedna sonda na 2 ha do 5 ha za glavni projekt.

Na temelju pregleda terena i sondiranja istraživane površine odrede se mjesta za iskop pedoloških profila. U prosjeku se iskopa jedan profil na 300 ha za izradu idejnog rješenja, jedan profil na 100 ha za idejni projekt i jedan profil na 30 ha do 40 ha za glavni projekt. Dubina profila iznosi 1 m do 2 m, tako da se može odrediti tip tla te uzeti uzorke za laboratorijske analize.

U svakom pedološkom profilu izvrši se morfološki opis tla, te se definira:

- debljina i raspored horizonata;
- boja, tekstura, struktura, sadržaj zemnoalkalnih karbonata, pedodinamske novotvorenine;
- zbijenost, plastičnost, poroznost, propusnost za vodu;
- naziv pedosistematske jedinice;
- naznaka melioracijskih mjera koje je potrebno izvesti u svrhu navodnjavanja.

U laboratoriju se određuju potrebna fizikalna i kemijska svojstva tla:

- poroznost;
- kapacitet tla za zrak i vodu;
- volumna gustoća;
- mehanički sastav i stabilnost mikrostrukturnih agregata tla;
- reakcija tla (pH vrijednost);
- sadržaj humusa;
- sadržaj NPK.

### **2.1.2. HIDROPEDOLOŠKA ISTRAŽIVANJA**

Iz pedoloških profila uzimaju se uzorci tla u narušenom i prirodno nenarušenom stanju u cilindrima te se u laboratoriju obavljaju istraživanja vodnih svojstava tla:

- vodnih konstanti (poljski vodni kapacitet, lentokapilarna vlažnost i vlažnost venjenja biljaka);
- intervali vlažnosti tla i sadržaj pristupačne vode za biljke;
- infiltracijska sposobnost tla za vodu;
- filtracijska sposobnost tla za vodu.

Pored analize tla u laboratoriju se izvrši i analiza vode za navodnjavanje na uzorku vode uzetom sa izvorišta. U uzorku vode se određuju kemijska svojstva:

- sadržaj ukupnih soli;
- sadržaj kationa (Ca, Na, K i Mg);
- sadržaj aniona ( $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ );
- kakvoća i pogodnost vode za navodnjavanje;
- sadržaj krutih čestica (taloga) u vodi.

**VAŽNA NAPOMENA:** pedološka i hidropedološka istraživanja te izradu podloga i dokumentacije za projektiranje sustava za navodnjavanje mogu izvoditi samo za te radove ovlaštene, pravne osobe. To su u Hrvatskoj uglavnom fakultetski zavodi, instituti i registrirane stručne tvrtke.

## 2.2. ANALIZA KLIMATSKIH PRILIKA PODRUČJA I IZRAČUNI POTREBNIH KOLIČINA VODE ZA NAVODNJAVANJE

Za analizu klimatskih prilika područja koriste se podaci sa najbliže metereološke postaje u blizini područja navodnjavanja. Prikupljaju se višegodišnji podaci o klimatskim elementima te se analiziraju i statistički obrađuju;

**2.2.1. Oborine i temperature zraka** (dnevne, mjesečne i godišnje oborine u mm i temperature zraka u  $^{\circ}\text{C}$ )

**2.2.2. Izračun potreba biljaka za vodom** (preko referentne  $\text{ET}_0$  putem računalnih metoda CROPWAT u mm/dan, mm/dekada i ukupna vegetacija)

**2.2.3. Određuju norme i obroke navodnjavanja** (mm/dan ili  $\text{m}^3/\text{ha}$ ) prema kulturama i plodoredu

**2.2.4. Izračunavaju ukupne količine vode za navodnjavanje za određenu biljnu proizvodnju** (u  $\text{m}^3/\text{ha}$ , l/s/ha,) tijekom vegetacije.

## 2.3. GEODETSKE PODLOGE, TOPOGRAFSKE KARTE I PLANOVI

Za projektiranje i izgradnju sustava navodnjavanja neophodne su geodetske podloge područja ili parcela na kojima će se izvoditi radovi. Geodetske podloge sačinjavaju planovi i karte (zemljovidi) koje su zapravo geodetske snimke manjeg ili većeg dijela zemljišne površine prikazane na papiru u određenom omjeru. Plan je ona snimka prostora koja je prikazana u krupnijem mjerilu ( $M = 1$ : do 10 000), a karta u sitnijem mjerilu ( $M = 1$ : 10 000 i više). Povećanjem mjerila povećava se točnost plana odnosno karte.

Planovi se najčešće izrađuju u sljedećim mjerilima:  $M = 1$ : 500,  $M = 1$ : 1 000,  $M = 1$ : 2 000,  $M = 1$ : 5 000, a karte  $M = 1$ : 10 000,  $M = 1$ : 25 000 i  $M = 1$ : 50 000. Na svim planovima i kartama je prikazana i visinska predstava terena slojnicama ili izohipsama. Slojnice na planovima i kartama daju informacije o konfiguraciji terena i nagibu površine terena toliko točno da se na njima mogu projektirati sustavi za navodnjavanje.

U zavisnosti od razine istraživanja, izrade podloga i projektne dokumentacije koriste se sljedeće geodetske podloge:

- idejno rješenje, prikazuje se na topografskom planu  $M = 1$ : 25 000 ili  $M = 1$ : 50 000. Uzdužni profili izrađuju se u mjerilu geodetske podloge ili  $M = 1$ : 10 000, a poprečni presjeci u  $M = 1$ : 500 i  $M = 1$ : 200;
- idejni projekt izrađuje se na topografskoj karti  $M = 1$ : 10 000 ili  $M = 1$ : 5 000. Mjerilo uzdužnih projekta odgovara mjerilu geodetske podloge, a poprečni presjeci su u mjerilu  $M = 1$ : 100;
- glavni projekt se prikazuje uglavnom u mjerilu  $M = 1$ : 2 000 i u  $M = 1$ : 2 500, na razmaku slojnica 0,25 m pa i 0,5 m. Mjerila uzdužnih profila uglavnom odgovaraju

mjerilu geodetske podloge, tada je ( $M = 1: 5\ 000$ ,  $M = 1: 1\ 000$ ,  $M = 1: 2\ 500$ ), a  
poprečni presjeci u mjerilu  
 $M = 1: 100$  ili  $M = 1: 50$ .

Kod planiranja navodnjavanja za određeno veće područje, potrebne geodetske podloge mogu već postojati. Ako ne postoje, (ili na manjim površinama) tada je nužno parcele geodetski snimiti i načiniti topografske namjenske karte.

## **2.4. ODREĐIVANJE PROIZVODNE ORIJENTACIJE U NAVODNJAVANJU**

Temelj biljne proizvodnje u navodnjavanju je pravilna proizvodna orijentacija, pravilan izbor kultura, plodoreda, njihova namjena i održivo gospodarenje zemljištem.

S obzirom da su investicije u infrastrukturu i opremu za navodnjavanje znatne, često puta i vrlo velike po jedinici površine to je nužno orijentirati se tržišnoj ekonomiji i konkurentnosti poljoprivredne proizvodnje u navodnjavanju. Biljnu proizvodnju u navodnjavanju odlikuje princip intenzivne proizvodnje. Za navodnjavanje je potrebno odabirati vrlo dohodovne kulture, koje mogu „platiti“ skupu praksu navodnjavanja i još donijeti profite.

### **Ratarske i krmne kulture**

Većina ratarskih i krmnih kultura nije isplativa za navodnjavanje i zato treba biti vrlo oprezan pri njihovom odabiru. Interesantne ratarske i krmne kulture u uvjetima navodnjavanja mogu biti:

- sjemenska proizvodnja kukuruza (povećanje prinosa do 30% i povećanje kvalitete zrna);
- soja (povećanje prinosa do 50%);
- lucerna (povećanje prinosa (broj otkosa), povećanje kvalitete, produženje usjeva 3 do 5 godina);
- postrna sjetva „druga žetva“ (poboljšanje određenih karakteristika tla).

### **Industrijske kulture**

U strukturi sjetve u nas su industrijske kulture slabo zastupljene, a povoljno reagiraju na navodnjavanje i to:

- proizvodnja sjemena (šećerna repa, soja);
- merkantilna proizvodnja (šećerna repa, suncokret, duhan);

### **Povrćarske kulture**

Povrćarstvo je disperzirano cijelim područjem Hrvatske i u sve je većem porastu, pretežito uz navodnjavanje. Dominira proizvodnja povrća na otvorenom, dok je proizvodnja u zaštićenim prostorima daleko manja.

Uz navodnjavanje se može očekivati znatnije povećanje uroda svih povrćarskih kultura. Preporuka je da se povrće svakako uključi u proizvodnu orijentaciju u navodnjavanju (na oranicama), bilo u osnovnoj proizvodnji ili u postnoj sjetvi.

### **Drvenaste kulture (voće i vinova loza)**

Većina voćaka izvrsno reagira na navodnjavanje, povećanjem uroda i kvalitete ploda. Procjenjuje se da se primjenom navodnjavanja povećavaju prosječni urodi voća za 30% do 58% u kopnenom dijelu, a u primorskom dijelu Hrvatske čak 2 do 3 puta .

Vinova loza također dobro reagira na navodnjavanje u smislu povećanja uroda i kakvoće, ponajprije stolnih kultivara.

## **2.5. PROJEKTIRANJE SUSTAVA NAVODNJAVANJA I ODABIR OPREME**

Krajnja faza priprema i planiranja navodnjavanja je projektiranje sustava i odabir načina, metoda i opreme za navodnjavanje. Projektiranje je konačno tehničko i ekonomsko uobličenje neke opravdane zamisli za navodnjavanje poljoprivrednih kultura. Tijekom projektiranja koriste se sva istraživanja, podloge i stručna dokumentacija nastala u pripremnom dijelu planiranja sustava navodnjavanja. Konačni rezultati projektiranja jesu precizna tehnička rješenja sustava i opreme, nacrti te ekonomske osnove projekta s troškovima i pokazateljima isplativosti investicije izgradnje sustava za navodnjavanje.

Projektiranja, tehničke i ekonomske zamisli navodnjavanja neke parcele, područja ili zaštićenog prostora odvijaju se ovim tijekom radova.

### **Idejno rješenje navodnjavanja**

Pruža osnovne podatke o zemljištu, klimi, vodi, poljoprivrednim kulturama te grubim ekonomskim pokazateljima uspješnosti zamisli o navodnjavanju. Daje samo preporuke o mogućim načinima i opremi za navodnjavanje.

### **Idejni projekt navodnjavanja**

Sastoji se od:

- općeg dijela;
- agroekoloških uvjeta proizvodnje (klima, tlo, hidrologija, hidrografija, pedološka osnova, pogodnost tla za navodnjavanje);
- agronomске osnove proizvodnje (plodored, potrebe biljaka za vodom u planiranoj proizvodnji, obroci, norme i turnusi navodnjavanja, uređenje zemljišta za navodnjavanje);
- ekonomske osnove projekta (troškovi rada i održavanja, vrijednost budućih rezultata, financijski tijek ulaganja, izvori financiranja, vrijeme povratka kapitala, ekonomska isplativost projekta);

## Glavni i izvedbeni projekti

Sastoji se i daje:

- sve tehničke i ekonomske pokazatelje;
- projektne podloge (pedološka, hidrološka osnova, bilanca raspoloživih voda za navodnjavanje, geomehaničke značajke terena, infrastrukturna ograničenja);
- tehničko rješenje (hidraulički, statički i drugi izračuni, definiranje zahvata rada i distribucija do korisnika, sustavi navodnjavanja na parceli, energetski izvori, ostala infrastruktura);
- održavanje i upravljanje sustavima za navodnjavanje (tehnička suradnja, edukacija radnika, pogon i održavanje sustava za navodnjavanje);
- opisi, troškovi i nacrti (tehnološki elementi izvođenja radova, troškovnici radova po vrstama, nacrti i detalji tehnoloških rješenja);
- odabir opreme za navodnjavanje (klasično navodnjavanje kišenjem, samohodni strojevi za navodnjavanje kišenjem, mini rasprskivači, navodnjavanje kapanjem).

**VAŽNA NAPOMENA:** izradu projektne dokumentacije i provedba stručnog nadzora nad izvođenjem radova mogu provoditi samo ovlaštene pravne osobe ili pojedinci. To su projektni uredi, poduzeća te izvođači radova koji imaju kadrove i opremu za navedene visokostručne poslove.

### 3. METODE, NAČINI I SUSTAVI NAVODNJAVANJA

Navodnjavanje poljoprivrednih kultura je vrlo stara melioracijska mjera i praksa koju su izvodile mnoge civilizacije u prošlosti. Prapočeci navodnjavanja su vjerojatno bili u Kini i Indiji, a poznati su sustavi u dolinama rijeka Eufrata i Tigrisa (današnji Irak). Tu su još u predbiblijska vremena živjeli Asirci, Babilonci i drugi narodi koji su već 4 000 – 6 000 godina prije Krista poznavali razne načine i tehnike navodnjavanja te ih koristili na svojim poljima. Visoka civilizacija drevnoga Egipta je koristila vode rijeke Nila za navodnjavanje poljoprivrednih površina.

Od proteklih civilizacija navodnjavanje su koristili stari Grci i Rimljani. U srednjem vijeku izgrađivali su se također sustavi za navodnjavanje u Europi i Aziji.

Procvat i značajni napredak navodnjavanja nastaje iza Drugog svjetskog rata razvitkom suvremenih tehnologija, sustava i opreme za navodnjavanje (crpke, novi materijali i sl.).

Danas se u svijetu trenutačno navodnjava 250 miliona hektara ili oko 17% obradivih površina, a na njima se proizvodi oko 40% svjetske hrane i poljoprivrednih sirovina.

U Europskoj uniji (EU) danas se najviše navodnjava u zemljama južne Europe, pa tako u Italiji oko 23,0%, Portugalu 21,0%, Grčkoj 38%, Španjolskoj 18% od ukupnih obradivih površina.

Prema podacima Popisa poljoprivrede iz 2003. godine u Hrvatskoj se navodnjavalo 9 264 ha što čini 0,86% naših obradivih površina i što je vrlo malo u odnosu na naše prirodne mogućnosti i potrebe.

Danas se na poljoprivrednim kućanstvima u Hrvatskoj najviše površina navodnjava u Splitsko-dalmatinskoj i Dubrovačko-neretvanskoj županiji. Kada je riječ o poslovnim subjektima, tada je najviše navodnjavanih površina u Osječko-baranjskoj županiji.

Svrha navodnjavanja kao melioracijske mjere je nadoknaditi nedostatak vode koji se javlja pri uzgoju poljoprivrednih kultura kako bi se osigurao njihov što veći biološki potencijal.

Širom svijeta navodnjavaju se poljoprivredne površine u svim klimatima i područjima. Danas navodnjavanje nije ograničeno samo na sušne predjele, već je prošireno na sve površine gdje je razvijena poljoprivreda. Ono je postalo univerzalna melioracijska mjera i simbol razvijenoga društva.

Navodnjavanje se kao uzgojna mjera razlikuje, odnosno izvodi kao:

- osnovno ili redovito;
- dopunsko ili povremeno.

Osnovno ili redovito navodnjavanje se izvodi kao temeljna melioracijska i agrotehnička mjera u tehnološkom procesu biljne proizvodnje u sušnim (aridnim) predjelima gdje je primarni preduvjet za bilo kakvu poljoprivrednu proizvodnju. To su predjeli svijeta sa manje od 300 mm ukupnih godišnjih oborina, koje ne osiguravaju životne uvjete za kulturne biljke i gdje bez navodnjavanja nema biljne proizvodnje (Južna Amerika, Afrika, Azija, dijelovi Bliskog istoka).

Dopunsko ili povremeno navodnjavanje se prakticira u umjerenim klimatskim područjima gdje nije osnovna nego samo korekcijska, melioracijska i agrotehnička mjera. Koristi se uglavnom u sušnim i toplim periodima godine (ljetu), kada nema dovoljno oborina. Obavlja se povremeno u zavisnosti od potreba, a čini „dopunu“ prirodnim oborinama. Upravo u Hrvatskoj dopunsko navodnjavanje nalazi svoju pravu vrijednost u suvremenoj i tržišnoj poljoprivredi.

Navodnjavanje poljoprivrednih kultura se može obavljati na više načina te raznim tehnikama i opremom. Izbor načina navodnjavanja zavisi od kulture, klimatskih i zemljišnih prilika, opreme, iskustva i znanja poljoprivrednika - korisnika sustava.

Danas se svi načini i sustavi navodnjavanja mogu svrstati u sljedeće metode:

- površinsko navodnjavanje;
- podzemno navodnjavanje;
- navodnjavanje iz zraka (pod tlakom).

### **3.1. POVRŠINSKO NAVODNJAVANJE**

Površinski načini navodnjavanja su najstariji i čine „klasiku“ navodnjavanja poljoprivrednih kultura. Statistika pokazuje da i danas u svijetu još dominiraju sustavi površinskog navodnjavanja (oko 60%) koji su vezani uz tehnologiju uzgoja poljoprivrednih kultura, prije svega riže u zemljama u razvoju.

Sustavi za površinsko navodnjavanje temelje se na principu slobodnog tečenja vode u prirodi djelovanjem sile gravitacije pa se stoga i nazivaju gravitacijski sustavi navodnjavanja poljoprivrednih kultura.

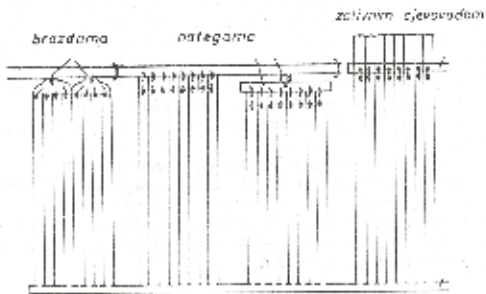
Temeljni princip površinskog navodnjavanja je da se voda dovodi na proizvodnu površinu gdje u tankom sloju stoji, otječe i upija se u tlo.

Prema raspodjeli vode po površini terena, razlikuju se sljedeći načini površinskog navodnjavanja: navodnjavanje u brazdama, navodnjavanje potapanjem (preplavljivanje) i navodnjavanje prelijevanjem (rominjanje).

#### **3.1.1. NAVODNJAVANJE BRAZDAMA**

Kod ovoga načina površinskog navodnjavanja voda se dovodi i raspoređuje po površini proizvodne parcele u brazdama iz kojih se tada procesom infiltracije postepeno upija u tlo. Brazde se izrađuju (brazdaju) posebnim plugovima obično prije sjetve ili sadnje kultura.

Navodnjavanje brazdama se primjenjuje kod širokorednih kultura, okopavina, voća i povrća (Slika 4).



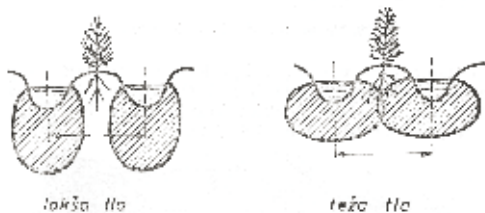
Slika 4: Načini upuštanja vode u brazde

Brazde mogu biti:

- protočne (voda kroz njih protječe);
- neprotočne (voda u njima stoji, ne teče).

Protočne brazde se primjenjuju na terenima koji imaju prirodne padove, a neprotočne brazde na ravnim terenima.

Razmaci između brazdi zavise od infiltracijskih sposobnosti i mehaničkog sastava tla (Slika 5).



Slika 5: Infiltracija vode u različitim tipovima tala kod navodnjavanja brazdama

Prosječni razmaci brazda se na lakšim tipovima tala kreću od 50 do 60 cm, srednje teškim 60 do 70 cm i na teškim tlima 70 do 90 cm i više.

Dubine brazda mogu biti do 15 cm (pliske) te 20 do 25 cm (duboke). Kod protočnih brazda treba voditi računa o položaju, smjeru i padu jer veći pad brazde dovodi do erozije tla uslijed povećane brzine vode.

Položaj, smjer i pad protočnih brazdi ovise o konfiguraciji terena i prirodnom padu. Najpovoljniji pad je od 3‰ do 8‰. Protok (Q) protočnih brazda iznosi 0,1 l/s do 0,2 l/s, a brzina vode ograničava se na 10 cm/s do 20 cm/s.

Na većim sustavima za navodnjavanje brazdama potrebna je i infrastruktura za dovođenje i razvođenje vode u brazde. Raspodjela vode iz dovodnih kanala po pojedinim parcelama se

vrši upusnim brazdama. Upuštanje vode u same brazde najčešće se izvodi pomoću plastičnih cijevi koje se nazivaju sifoni ili teglice. Oni ujedno služe i za točno doziranje količine vode u svaku brazdu - protoke (Q) koji iznose od 0,5 l/s do 1,5 l/s (Slika 6).



Slika 6: Poprečni presjek sifona - teglice

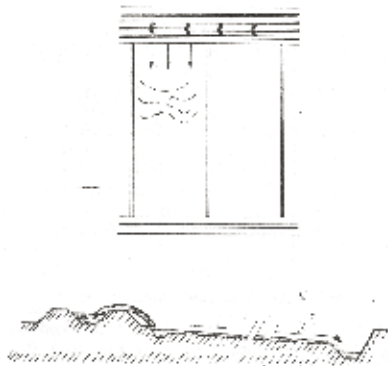
### 3.1.2. NAVODNJAVANJE PRELIJEVANJEM

Navodnjavanje prelijevanjem ili rominjanjem se manje primjenjuje kod nas. Pretežito se koristi za višegodišnje kulture kao što su lucerna, djetelina i djetelinsko-travne smjese, livade i pašnjaci.

Osnovni princip navodnjavanja prelijevanjem je da se voda prelijeva (rominja) preko uređene površine na nagibu i u tankome sloju upija u tlo. Primjena ovoga načina navodnjavanja zahtjeva preciznu pripremu zemljišta. U svrhu ravnomjerne raspodjele vode, navodnjavana površina se dijeli na parcele koje su najčešće u obliku uskih traka, a širina im se prilagođava konfiguraciji terena. Parcelice su odvojene manjim zemljanim nasipima visine 20 cm do 30 cm, širine 15 m do 20 m i dužine oko 100 m.

Praksa navodnjavanja prelijevanjem može se obavljati niz prirodni ili umjetni obronak ili padinu. Potrebni padovi terena mogu biti između 1% i 3% u smjeru dužine stranice što omogućava tečenje vode po površini. Debljina preljevnog mlaza je između 5 cm i 10 cm u zavisnosti od nagiba terena, dužine parcele, tipa i mehaničkog sastava tla.

Navodnjavanje prelijevanjem ima više nedostataka. Zahtjeva velike i precizne zemljane radove za uređenje parcelica i cijeloga sustava. Pri navodnjavanju se vlaži cijela površina pa dolazi do pogoršanja fizikalni i vodnih svojstava tla, erozije i raspadanja strukturnih agregata (Slika 7).



Slika 7: Navodnjavanje preljevanjem

### 3.1.3. NAVODNJAVANJE POTAPANJEM

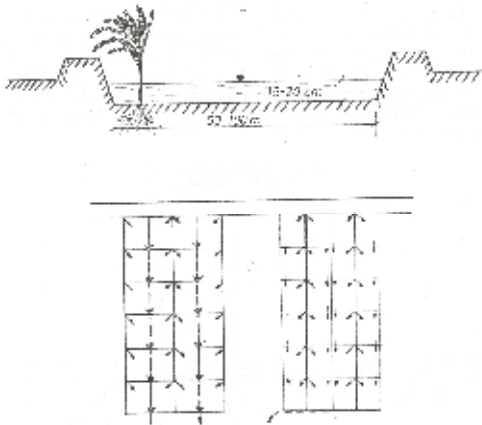
Navodnjavanje potapanjem ili preplavlivanjem moguće je izvesti pomoću dva sustava; sustavom kasete i sustavom lokvi.

#### Sustav kasete

Pri ovom sustavu navodnjavanja voda se ulijeva u kasete i potapa površinu u debljem ili tanjem sloju te se upija u tlo. Potapanje ili poplavlivanje može trajati kraće vrijeme, nekoliko dana ili dulje vrijeme kroz nekoliko mjeseci (Slika).

Za navodnjavanje potapanjem teren se mora pripremiti ravnanjem i izradom zemljanih pregrada kojima se stvaraju ograđene proizvodne parcelice (kasete, okna, čekovi). Veličine kasete su vrlo različite, od 1 ha do 2 ha pa i veće u zavisnosti od raspoloživa zemljišta. Mogu biti pravilnoga ili nepravilnoga oblika prema konfiguraciji terena. Navodnjavanje potapanjem sustavom kasete se najčešće koristi u uzgoju riže (Kina, Indija, Indonezija, Malezija). Uobičajeno su to veliki sustavi površinskog navodnjavanja s vrlo složenim hidrotehničkim građevinama za dovođenje, raspodjelu i odvođenje vode po završetku vegetacije.

Prilikom navodnjavanja potapanjem upotrebljavaju se ogromne količine vode koje plave velike površine te se stvaraju močvarni uvjeti, a pogoršavaju se vodo-zračni režim i mikrobiološka aktivnost tla. Zbog toga je na navodnjavanjem poljima nužno izgraditi dobar i učinkovit sustav odvodnje radi brzoga odvođenja suvišnih površinskih i podzemnih voda (Slika 8).



Slika 8: Navodnjavanje potapanjem

### Sustav lokvi

Kod navodnjavanja lokvama voda se ulijeva u male ograđene parcelice – lokve koje se izrađuju oko navodnjavane kulture. Sustav lokava uglavnom se koristi za navodnjavanje drvenastih kultura – vočke, vinova loza, ukrasno bilje, parkovi. Lokve se izvedu samo oko biljke (debla) u obliku kvadrata ili kruga i ograđuju malim zemljanim nasipom.

Voda se u lokve dovodi brazdama ili cijevima. Navodnja se samo mala površina lokvi, a ostala proizvodna površina je suha i omogućuje kretanje poljoprivredne mehanizacije.

## **3.2. PODZEMNO NAVODNJAVANJE**

Ovim se načinom voda podzemnim putom dovodi neposredno u zonu korijenovog sustava kulturnih biljaka. Na taj se način voda dodaje i raspoređuje samo unutar rizosfernog sloja tla, a ne i po površini.

Sustavima podzemnog navodnjavanja održava se sadržaj vode u rizosferi unutar granica optimalne ili poželjne vlažnosti tla za biljke. Vlaženje „od dolje“ (podzemno) ima određenih prednosti prema drugim metodama i načinima navodnjavanja. Ne navodnja se površina zemljišta, ne stvara se pokorica, nema narušavanja strukture tla. Površina navodnjavanih parcela je slobodna i suha, nema zapreka za kretanje ljudi i strojeva tijekom proizvodnog procesa uzgoja kulturnih biljaka.

Ideja podzemnog navodnjavanja je vrlo privlačna s agronomskog stajališta, ali tehnički prilično zahtjevna. Zemljište za podzemno navodnjavanje mora biti ravno, lakšeg mehaničkog sastava i dobre vertikalne vodopropusnosti te povoljnoga kapilarnog uspona vode.

Postoje različite hidrotehničke izvedbe podzemnog navodnjavanja, ali najčešće se primjenjuju dva načina: regulacija razine podzemne vode otvorenim kanalima i navodnjavanje podzemnim cijevima (subirigacija).

### 3.2.1. REGULACIJA RAZINE PODZEMNE VODE OTVORENIM KANALIMA

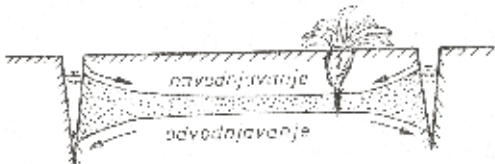
Podzemno navodnjavanje pomoću otvorenih kanala ili prirodnih vodotoka moguće je izvesti na poljoprivrednim proizvodnim površinama gdje postoji izgrađena kanalna mreža za odvodnju suvišnih voda. Voda se ovdje infiltrira iz otvorenih kanala u tlo i bočno širi na oranice.

Kanali koji uobičajeno služe za odvodnju suvišnih voda u hladnom i vlažnom dijelu godine, mogu tijekom ljetnih mjeseci i suše poslužiti za kontrolirano održavanje razine podzemne vode u agrološkom profilu tla i bočno širenje vode te tako navodnjavati poljoprivredne kulture (Slika ).

Razinu vode u kanalima moguće je regulirati odgovarajućim branama ili zapornicama koje se postavljaju na određenim mjestima. Također, moguće je postaviti reverzibilne crpke u postojeće sustave odvodnje, kojima se voda u jednom dijelu sezone uklanja, a u drugom dijelu doprema iz prirodnih vodotoka i služi za navodnjavanje.

Princip podzemnog navodnjavanja pomoću otvorenih kanala je pravilno gospodarenje s vodama na nekom proizvodnom području, putem zaustavljanja ili kontroliranja ispuštanja vode iz odvodnih kanala. Korisnici hidromelioracijskih sustava moraju kontrolirati razinu vode unutar sustava kanala i pohranjivati ju za potrebe navodnjavanja. Za ovaj način navodnjavanja odvodni sustavi se moraju prilagoditi dvostrukoj namjeni tipa „odvodnja-navodnjavanje“.

Primjeri podzemnog navodnjavanja otvorenom kanalskom mrežom u Republici Hrvatskoj su Baranja (Podunavlje) i područje donjeg tijeka rijeke Neretve.



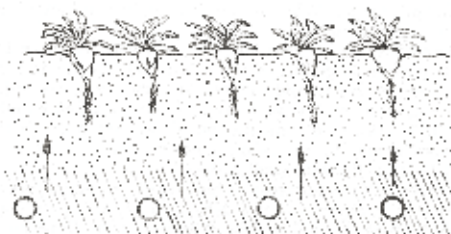
Slika 9: Podzemno navodnjavanje otvorenim kanalima

### 3.2.2. NAVODNJAVANJE PODZEMNIM CIJEVIMA

Dovođenje vode u zemljište podzemnim cijevima je drugi način podzemnog navodnjavanja, kod kojega se u tlo ugrađuju na određenu dubinu i razmake perforirane cijevi ili cijevi sa posebnim kapaljkama kroz koje voda pod tlakom, izlazi i lagano se upija u rizosferni sloj tla. U zemljište se polažu cijevi od plastike (sa rupicama) ili pečene gline, na dubini od 50 cm do 80 cm, te paralelnim razmacima 0,5 m do 6,0 m u zavisnosti o vrsti tla i uzgajanoj kulturi (Slika).

Voda je u cijevima pod laganim tlakom, a dužina cijevi može biti od 100 m do 150 m pa i duže. Sustav navodnjavanja podzemnim cijevima sličan je cijevnoj drenazi koja u hidrotehnici služi za odvođenje suvišnih voda. Postoje i mogućnosti kombiniranja podzemnih cijevnih sustava za dvonamjensko korištenje: u jesenکو-zimskim i ranoproljetnim uvjetima za odvođenje suvišnih voda iz tla, a u ljetnim suhim mjesecima za navodnjavanje poljoprivrednih kultura. Navedeni dvonamjenski sustav „odvodnja-navodnjavanje“ mora unaprijed planirati i posebno izvoditi.

Najvažnije prednosti navodnjavanja podzemnim cijevima su što se tlo vlaži kapilarnim širenjem vode (u zonu korijena) pa se ne pogoršava njegova struktura, zatim se ne stvara pokorica tla, ne dolazi do sabijanja tla, vlažnost tla je skoro uvijek optimalna, troše se manje količine vode, biljke bolje koriste hranjiva iz tla i ne ometa se rad poljoprivredne mehanizacija. Glavni nedostaci su: složena tehnička izvedba i zahvati u tlu, često začepljenje perforacija ili kapaljki na cijevima, mogućnosti prevlaživanja, zamočvarivanja i zaslanjivanja tla. Sustavi podzemnog navodnjavanja cijevima su veliki tehnički i investicijski zahvati što u znatnoj mjeri ograničava primjenu u praksi (Slika 10).



Slika 10: Podzemno navodnjavanje cijevnom drenazom

### 3.3. NAVODNJAVANJE IZ ZRAKA (POD TLAKOM)

Suvremene tehnike navodnjavanja koriste se raspodjelom vode „iz zraka“, što se bitno razlikuje od površinskih ili podzemnih načina navodnjavanja. Prilikom navodnjavanja iz zraka, voda se uzima na izvoru crpkama i stavlja pod tlak te se kroz sustave zatvorenih cjevovoda dovodi i raspodjeljuje po parceli.

Ovakvo navodnjavanje se može nazvati i „navodnjavanje pod tlakom“ jer se voda zaista tlačí kroz cijevi gdje teče po zakonitostima kretanja vode u zatvorenim cijevnim sustavima (namjenski „vodovodni“ sustavi).

Svi sustavi navodnjavanja pod tlakom sastoje se od sljedećih elemenata: crpke i agregata (koji su na izvoru vode), usisnog i tlačnog cjevovoda (dovode vodu od izvorišta do mjesta korištenja), razvodnog cjevovoda (razvode vodu po parceli) te hidrauličkih naprava za raspodjelu vode po površini terena (rasprskivači i kapaljke).

Načini navodnjavanja iz zraka (pod tlakom) su relativno novijeg datuma te su se razvijali paralelno s razvojem modernih tehnologija iz proizvodnje opreme, a posebno crpki, lakih cjevovoda od aluminija i plastike te raznolikih vrsta rasprskivača i kapaljki. Većina njih je automatizirana te ne zahtijeva uporabu ljudske radne snage osim u nadzoru, programiranju i kontroli rada.

Postoje različiti načini i tehnike navodnjavanja iz zraka, ali najzastupljenije su sljedeće:

- navodnjavanje kišenjem (umjetna kiša);
- lokalizirano navodnjavanje (kap po kap i mini rasprskivači);

### 3.3.1. NAVODNJAVANJE KIŠENJEM

Navodnjavanje kišenjem ili umjetno kišenje je takav način dodavanja vode nekoj kulturi da se ona raspodjeljuje po površini terena u obliku kišnih kapljica, oponašanjem prirodne kiše. Voda se zahvaća na izvoru crpkama i pod pritiskom (do 7 i više bara) se kroz sustav cjevovoda dovodi do proizvodnih poljoprivrednih površina gdje se pomoću rasprskivača raspodjeljuje u kapljicama po navodnjavanoj površini.

Umjetno kišenje danas zauzima velike površine u poljoprivrednoj proizvodnji i po zastupljenosti je odmah iza sustava površinskog navodnjavanja. Ima tendenciju brzoga širenja te će uskoro biti najrasprostranjeniji način navodnjavanja. Širi se na novim površinama, ali sve više zamjenjuje površinske i klasične načine navodnjavanja pri modernizaciji tehnologije sustava i povećava udjel u strukturi navodnjavanih površina.

Ovaj je način navodnjavanja vrlo povoljan za kulturnu biljku i njeno stanište jer se navodnjavanje približava prirodnim prilikama tj. oborinama.

Sve vrste kultura se mogu navodnjavati umjetnom kišom od ratarskih, krmnih, voćarskih, povrćarskih te vinograda i kultura u staklenicima i plastenicima. Može se primijeniti na ravnim i nagnutim terenima u različitim topografskim uvjetima. Ne zahtjeva posebnu pripremu terena, učinkovito koristi vodu koja se može točno dozirati u norme i obroke navodnjavanja prema uzgajanoj kulturi, a tlo je manje izloženo pogoršanju fizikalnih svojstava.

Pored niza prednosti ovaj način navodnjavanja ima i svoje nedostatke. Cijene uređaja i suvremene opreme su vrlo visoke, pogonski troškovi (gorivo, električna energija) su također znatni, neravnomjerna je raspodjela vode pri jakom vjetru, javljaju se gubici vode isparavanjem, intenzivnija pojava biljnih bolesti.

Prema načinu izgradnje i korištenja elemenata te organizacije rada, sustavi za navodnjavanje kišenjem mogu biti:

- nepokretni ili stabilni;
- polupokretni ili polustabilni;
- pokretni ili prijenosni;
- samopokretni ili samohodni;

Nepokretni sustavi za navodnjavanje imaju izgrađenu crpnu stanicu i ukopane dovodne i razvodne cjevovode. Rasprskivači su fiksirani na navodnjavanoj površini i mogu se uključiti u rad prema potrebi. Ovi sustavi se grade za višegodišnje i visokoakumulativne kulture, kao što

su voćnjaci i vinogradi te povrtne kulture na većim površinama. Zahtijevaju velika investicijska ulaganja u opremu i građevinske radove, a sustavi mogu poslužiti i za zaštitu od mrazeva u voćnjacima.

Polupokretni sustavi se sastoje od ugrađene crpne stanice, ukopane mreže dovodnih cijevi te pokretnih razvodnih cijevi (kišnih krila) i prijenosnih rasprskivača. Dovodni cjevovodi su najčešće od željeznih, betonskih ili azbestnih cijevi koje podnose visoke pritiske vode (do 10 bara). Pokretna kišna krila su najčešće od aluminijskih legura ili plastičnih materijala. Cijevi su standardiziranih dimenzija, vrlo lagane i međusobno se povezuju pomoću brzospajajućih spojnica. Kišenje se obavlja na jednoj radnoj poziciji u vremenu potrebnom da se realizira obrok navodnjavanja. Nakon toga, kišna krila s rasprskivačima se prenose na drugu radnu poziciju, za što je potreban znatan broj radnika.

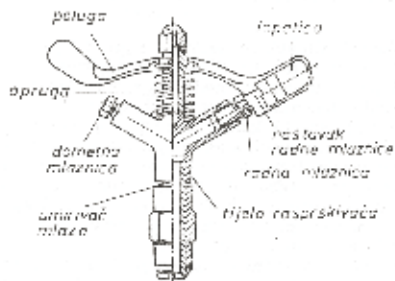
Ovi sustavi su pogodni za navodnjavanje većih ratarskih površina, a za kulture kao što su: kukuruz, soja i suncokret (do određene faze rasta), lucerna te livade i pašnjaci. Također se navodnjavaju polupokretnim sustavima povrtlarske i voćarske kulture.

Pokretni ili prijenosni sustavi se sastoje od opreme koja se u cijelosti može premještati tijekom rada. Svi elementi su pokretni – pumpa, cjevovodi, kišna krila i rasprskivači. Poslije navodnjavanja površine na jednom mjestu svi se elementi prenose na novu radnu poziciju. Ovi sustavi su pogodni za navodnjavanje gotovo svih poljoprivrednih kultura: ratarskih, povrtlarskih, voćarskih i cvjećarskih, kao i na svim terenima.

Prikladni su za navodnjavanje manjih parcela u individualnom vlasništvu, odnosno svih onih koji žele na maloj površini intenzivirati biljnu proizvodnju. U proizvodnim programima naših i stranih tvornica opreme za navodnjavanje mogu se naći pumpe, cijevi, spojni komadi i rasprskivači za upotrebu individualnih poljoprivrednih proizvođača i farmara.

Prijenosne cijevi koje se koriste kod pokretnih sustava za navodnjavanje kišenjem su također od aluminija ili pocinčanog lima te od plastike. Različitih su promjera (50 mm, 70 mm, 90 mm, 110 mm, 125 mm, 150 mm) i dužine (6 m, 7 m, 9 m). Cijevi se spajaju u cjevovod posebnim spojnica, koje mogu biti mehaničke ili hidrauličke.

Na kišna krila se postavljaju rasprskivači, posebne hidrauličke naprave koje služe za raspodjelu vode po površini u obliku kišnih kapi. Sastoje se iz jedne ili dvije mlaznice i tijekom rada kiše cijeli ili samo određeni sektor kruga (Slika 11).



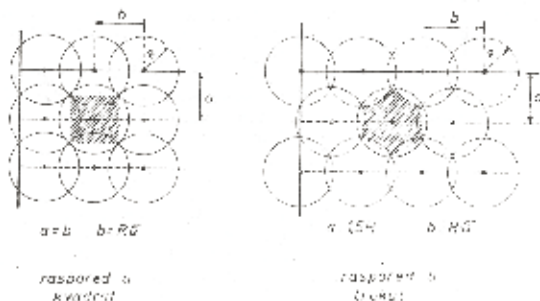
Slika 11: Rasprskivač za navodnjavanje kišenjem

Rasprskivača ima raznih vrsta i tipova, te gotovo svaki proizvođač opreme ima svoje tehničke izvedbe. Proizvođač daje podatke o osobinama rasprskivača u posebnim katalozima, koji služe projektantima i korisnicima sustava pri planiranju sustava za navodnjavanje. Izbor rasprskivača zavisi od kulture koja se navodnjava, infiltracijske sposobnosti tla te topografije terena. Za osjetljivije kulture, kao što su povrće i cvijeće, upotrebljavaju se rasprskivači s malim i finim kapljicama, dok se krmni i ratarski usjevi mogu navodnjavati rasprskivačima grubljih kapi. Jako je važno da se uskladi intenzitet kišenja rasprskivača sa infiltracijskom sposobnosti tla, kako ne bi došlo do zamočvarenja.

S obzirom na pojedine radne karakteristike, rasprskivači se dijele:

- prema intenzitetu kišenja (niskog intenziteta 2 mm/h do 10 mm/h, srednjeg 10 mm/h do 20 mm/h, visokog 20 mm/h do 30 mm/h);
- prema dometu mlaza (malog dometa do 20 m, srednjeg 20 m do 30 m, velikog 35 i više m);
- prema radnom pritisku (niskotlačni 1,5 bara do 2,5 bara, srednetlačni 2,5 bara do 5 bara, visokotlačni od 5 bara);

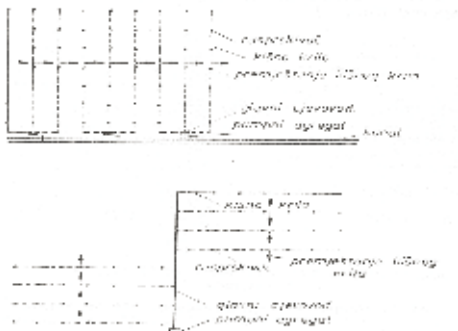
Rasprskivači se na polju koje se navodnjava prijenosnim sustavima postavljaju po određenom rasporedu da bi se postiglo ujednačeno kišenje po cijeloj površini terena. Postoje različite kombinacije međusobnog postavljanja rasprskivača, ali se u praksi najviše primjenjuju kvadratni, trokutasti i pravokutni (Slika 12).



Slika 12: Raspored rasprskivača na kišnim krilima

Pravilnim postavljanjem rasprskivača na kišnim krilima i razmacima između njih postiže se međusobno preklapanje omočenih površina da bi se izbjegla neokišena mjesta. Djelomično preklapanje omočenih površina dva ili više rasprskivača doprinosi ujednačenom kišenju, jer količina vode koju daje rasprskivač opada sa udaljenošću od njegovog središta.

U praksi navodnjavanja pokretnim sustavima kišenja važno je i ispravno postavljanje kišnih krila prema položaju izvorišta vode, obliku i veličini parcele te raspoloživoj opremi. Moguće su različite sheme postavljanja uređaja za navodnjavanje sa jednim ili više kišnih krila (Slika 13).



Slika 13: Postavljanje kišnih krila kod pokretnih sustava

Pokretni i polupokretni sustavi kišenja zahtijevaju mnogo ljudskoga rada pri premještanju razvodnih cjevovoda i kišnih krila s rasprskivačima. S obzirom da je sve manje raspoložive radne snage koja je postala i vrlo skupom, poljoprivrednici i proizvođači opreme za navodnjavanje težili su novim rješenjima, kao što su **samohodni uređaji za navodnjavanje kišenjem**. Njihovom primjenom se smanjilo učešće ljudskoga rada i troškova na minimum, a postignuto je efikasnije navodnjavanje. Postoje različite tehničke izvedbe samopokretnih uređaja, a suština svih je da se nakon postavljanja na oranici sami pokreću i obavljaju kišenje. Neki od samohodnih uređaja su automatizirani i programirani, tako da potpuno bez prisutnosti čovjeka izvode sve radne operacije na parceli.

Samohodni sustavi za navodnjavanje kišenjem su postavljeni na kotačima ili pokretnim okvirima, te se pomiču linijski (naprijed – nazad) ili kružno. Pogodni su za navodnjavanje svih vrsta poljoprivrednih kultura, pa čak voćnjaka i vinograda. S obzirom da su uređaji sa rasprskivačima izdignuti iznad površine zemlje, omogućeno je navodnjavanje visokih ratarskih kultura, kao što su kukuruz i suncokret te ostale kulture visokog habitusa.

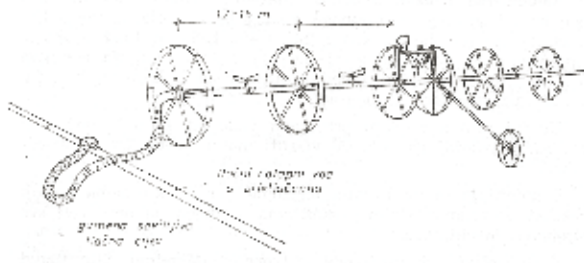
Prema tehničkoj izvedbi i konstrukciji, načinu kretanja i automatiziranosti rada, razlikuju se sljedeći tipovi samohodnih uređaja:

- samohodna bočna kišna krila;
- samohodne kružne prskalice;
- samohodni sektorski rasprskivači;
- samohodni automatizirani uređaji za linijsko ili kružno kretanje;

**Samohodna bočna kišna krila** se sastoje od aluminijskih cijevi postavljenih na kotače i maloga pogonskog motora koji pokreće krilo u novi radni položaj. Širina zahvata krila je promjenjiva, a prilagođava se prema obliku i veličini parcele za navodnjavanje i kreće se od 200 m do 400 m. Radni pritisak u cjevovodu je od 3,5 bara do 4,5 bara, a intenzitet kišenja od 10 mm/h do 15 mm/h.

Samohodno bočno kišno krilo se može primjenjivati na ravnim terenima i pravilnim tablama. Vrlo uspješno se upotrebljava za navodnjavanje povrtlarskih kultura, šećerne repe, soje,

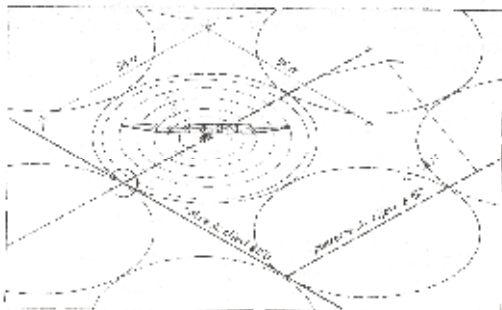
lucerne, pašnjaka i livada. Jedan uređaj može navodnjavati površinu od 30 ha do 70 ha. Kretanje kišnog krila u novu radnu poziciju je u smjeru naprijed-nazad (Slika 14).



Slika 14: Samohodno bočno kišno krilo

**Samohodne kružne prskalice** („Bum“ sustavi) izrađene su od visećeg „konzolnog“ kišnog krila, koje je postavljeno visoko na samohodnom okviru. Krilo se kružno okreće u promjeru 50 m do 70 m, a njegova je visina iznad tla podesiva do 5 m, što omogućava navodnjavanje visokih kultura, kao što su kukuruz, voćnjaci i vinogradi. Uređaj radi pod pritiskom od 4 bara do 7 bari, a u novi radni položaj ga pokreće vlastiti motor kretanjem naprijed-nazad.

Primjenjuje se na ravnim terenima, jer na kosinama postoji opasnost od prevrtanja. Ovim prskalicama se mogu navodnjavati sve poljoprivredne kulture (Slika 15).

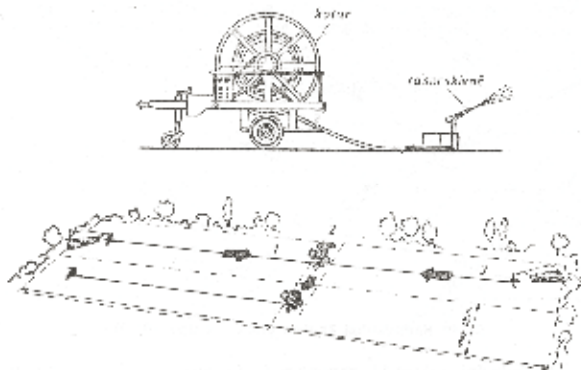


Slika 15: Samohodna kružna prskalica

**Samohodni sektorski rasprskivači** (nazivani „Tifon“ sustavi) sastoje se od velikoga vitla s namotanim plastičnim crijevom i jednog rasprskivača velikoga intenziteta i dometa. On se nalazi na pomičnom postolju („skije“) i kiši samo određeni sektor površine, a ne cijeli krug, što mu omogućava kretanje unazad i po suhom tlu. Radi s velikim pritiskom vode (od 6 bara do 8 bara) te troši znatne količine energije u toku eksploatacije.

Na početku navodnjavanja postolje sa rasprskivačem se odvlači na suprotni kraj parcele pomoću traktora. Tijekom rada veliko vitlo se lagano okreće, namata crijevo koje istovremeno povlači rasprskivač. Pokretanje vitla vrši voda iz sustava pod pritiskom.

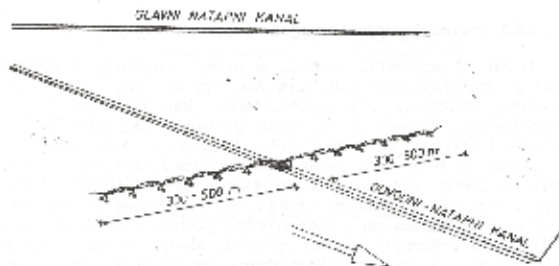
Samohodni sektorski rasprskivači se sve više primjenjuju za navodnjavanje gotovo svih poljoprivrednih kultura. Naročito su pogodni za kulture šireg sklopa, kao što su kukuruz, voćnjaci, vinogradi i rasadnici. Zbog svoje pokretljivosti, praktičnosti i dobrog učinka na kulture, masovno se primjenjuju u nas, ali i u cijeloj Europi (Slika 16).



Slika 16: Samohodni sektorski rasprskivač

**Samohodni automatizirani uređaji za linijsko ili kružno navodnjavanje** su jedinice velikih radnih zahvata, a pogodne su za navodnjavanje velikih proizvodnih površina. Sastoje se od kišnog krila podignutoga na posebnim pokretnim tornjevima. Na krilu su postavljeni brojni rasprskivači različitih intenziteta kišenja, koji s visine od 2 m do 3 m iznad zemlje navodnjavaju poljoprivredne kulture. Širina zahvata uređaja je različita, a kreće se od 300 m do 500 m s jedne, a isto toliko s druge strane uređaja. Ovi strojevi obavljaju navodnjavanje tijekom kretanja koje može biti linijsko u smjeru naprijed-nazad ili kružno. Pomoću njih se mogu navodnjavati gotovo sve poljoprivredne kulture, niske ili visoke, ali pretežito na ravnim terenima.

Linijski strojevi za automatizirano navodnjavanje kreću se pravolinijski uzduž table koju kiše, a kao izvor vode služi im otvoreni natapni kanal. Mogu zahvatiti tablu širine 2 x 500 m i dužine do 2 000 m, što znači da jedan uređaj navodnjava površinu od oko 200 ha (Slika 17).



Slika 17: Samohodni automatizirani uređaj za linijsko navodnjavanje

Uređaj se sastoji od više tornjeva koji su na međusobnom razmaku između 32 m do 56 m. Tornjevi (ili „kule“) se kontrolirano i zasebno pokreću pomoću elektromotora, što je automatikom sinkronizirano sa svim ostalim susjednim tornjevima, čime su isključeni lomovi i kvarovi.

Na osnovnom se podvožju koje se kreće uz otvoreni kanal nalazi pogonska, crpna i upravljačka (programator) jedinica. Radni pritisci su relativno mali (do 2 bara), te se primjenom ovih uređaja postižu velike energetske uštede na distribuciji vode. Intenziteti kišenja su također mali (5 mm/h do 15 mm/h), te se njima mogu zadovoljiti potrebe biljaka za vodom, a da se ne naruši vodo-zračni režim zemljišta. Obroci i intenziteti kišenja se određuju na programatoru uređaja.

Kružni uređaji za automatizirano navodnjavanje („centar pivot“) fiksirani su u središnjem dijelu kišnog krila koje rotira i navodnjava kružnu površinu. Izvorište vode se nalazi u središtu sustava, a obično je to hidrant ili pumpni agregat.

Dužina kišnog krila koje rotira kod ovih sustava je od 300 do 500 m, te može navodnjavati kružnu površinu veličine 40 ha do 90 ha. Između pojedinih jedinica ostaju neokišene površine, što je nedostatak ovih strojeva. Oni se, također, programiraju na zadani intenzitet i obrok navodnjavanja, te samostalno rade bez prisutnosti čovjeka. Okretanje kišnog krila se obavlja individualnim kretanjem svakog tornja, a njihove su brzine usklađene elektronikom.

### 3.3.2. LOKALIZIRANO NAVODNJAVANJE

Lokalizirano navodnjavanje čini vrlo moderna i sofisticirana oprema kojom se voda dovodi i raspodjeljuje do svake biljke „lokalno“, vrlo precizno i štedljivo, pomoću posebnih hidrauličnih naprava. Sustavima lokaliziranog navodnjavanja se vlažnost tla može održavati prema zahtjevima uzgajanih kultura i u granicama optimalne vlažnosti što pogoduje biljkama.

Lokalizirano navodnjavanje ima više prednosti prema ostalim metodama navodnjavanja; može se primijeniti na svim tlima, topografskim prilikama, na parcelama raznih oblika i dimenzija te za sve kulture u poljskim uvjetima i zaštićenim prostorima. Sustavi štede vodu i pogonsku energiju, te vrlo precizno doziraju vodu. Vrlo su pouzdani i tehnički funkcionalni uz mogućnost elektronske regulacije i kompjuterskog upravljanja ostvaruju visok i kvalitetan prinos poljoprivrednih kultura.

Metoda lokaliziranog navodnjavanja se primjenjuje na dva načina:

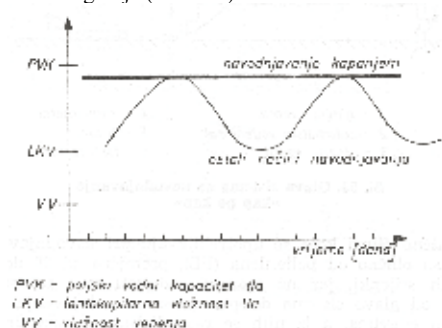
- navodnjavanje kapanjem („kap po kap“);
- navodnjavanje mini rasprskivačima („mali rasprskivači“);

## NAVODNJAVANJE KAPANJEM („KAP PO KAP“)

Jedan od najnovijih načina u praksi umjetnog dodavanja vode je navodnjavanje kapanjem ili kako se češće susreće u razgovorima stručnjaka i poljoprivrednika „kap po kap“. Sustavi navodnjavanja kapanjem su proizvodi modernih tehnologija. Potpuno su automatizirani i programirani, te tijekom svoga rada gotovo ne zahtijevaju prisustvo čovjeka. Zbog svojih dobrih radnih karakteristika, elektroničke podrške i tehničke perfekcije, uređaji za navodnjavanje kapanjem vrlo su interesantni za poljoprivredne proizvođače. Mnogi očekuju čuda od ovih sustava i smatraju ih „najboljim“ jer ne traže radnu snagu, a i reklame proizvođača opreme za kapanje čine velike utiske na interesantne.

Treba odmah istaći da kapanje nije „čarobni štapić“ za poljoprivredu, već da je to jedan od načina navodnjavanja poljoprivrednih kultura, prikladan samo za neke usjeve i površine. Kapanje je našlo široku primjenu u zemljama gdje nema dovoljno vode za navodnjavanje i gdje je ona dragocjenost, a bez nje nema sigurne poljoprivredne proizvodnje (Izrael, jug Italije, Francuska, SAD). Ovaj sustav **štedi vodu, te sa minimalnom količinom postiže maksimalne učinke u biljnoj proizvodnji**. Voda se dovodi cijevima do svake biljke i vlaži vrlo mali dio zemljišta, što smanjuje gubitke vode te se stoga naziva još „lokalizirano“ navodnjavanje. Vrijeme navodnjavanja može trajati i do 24 sata, što je uvrježilo i izraz „non-stop“ ili „dnevno“ navodnjavanje.

Osim tehničke superiornosti, uređaji za navodnjavanje „kap po kap“ imaju s agronomskog gledišta posebnu vrijednost, jer se pomoću njih sadržaji vode u tlu mogu neprestano održavati u optimalnim granicama za biljku. To se postiže tako da se laganim, ali vremenski neprekinutim dodavanjem malih količina vode vlažnost tla zadržava oko poljskog vodnog kapaciteta. Sustav kapanja amortizira velike oscilacije vlažnosti tla – od poljskog vodnog kapaciteta do lentokapilarne vlažnosti ili čak i niže, što se redovito događa kod ostalih načina navodnjavanja (Slika 18). Po tim karakteristikama navodnjavanje kapanjem je najprecizniji način umjetnog dodavanja vode tlu te vrlo suptilna i maštovita ljudska intervencija u uzgoju kulturnog bilja (Slika 18).

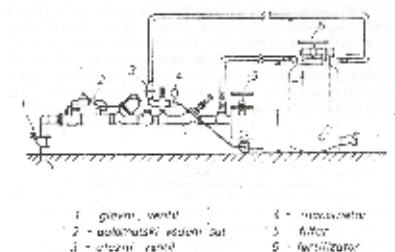


Slika 18: Održavanje vlažnosti tla kod navodnjavanja kapanjem

Sustav navodnjavanja kapanjem sastoji se od sljedećih elemenata: pogonskog dijela s filtrom, cijevi i kapljača.

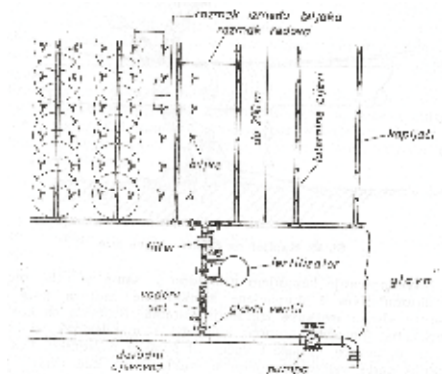
**Pogonski dio s filtrom** je njegov središnji dio koji upravlja cijelim sustavom (Slika 19). Tu se nalazi pumpa za zahvaćanje vode iz izvorišta, mjerači protoka i regulatori pritiska te filtri za pročišćavanje vode. Radni pritisak pri navodnjavanju kapanjem se kreće u rasponu od 0,8 bara do 1,5 bara, a održava se pomoću regulatora pritiska. Mjerači protoka vode služe za automatsku regulaciju kontrole protoka vode u sustavu.

Filtri su nužno potrebni kod navodnjavanja kapanjem kako bi se spriječilo začepljenje kapaljki. Čestice nečistoće (pijesak, prah i sl.) mogu zatvoriti vrlo fine otvore kapaljki i onemogućiti njihov rad.



Slika 19: Dijelovi sustava za navodnjavanje „kap po kap“

**Plastične cijevi** koje se upotrebljavaju pri navodnjavanju kapanjem su obično od polietilena (PE). Voda se od crpne stanice do parcele doprema tlačnim cjevovodom, promjera od 20 mm do 50 mm, a iz njih se raspodjeljuje u razvodne ili lateralne cjevovode promjera od 15 mm do 20 mm. Kod ovog načina navodnjavanja cjevovod pripada među najveće investicijske troškove u izgradnji sustava, s obzirom da je za potrebe 1 ha povrtnjaka potrebno od 5 000 m do 10 000 m, voćnjaka 2 000 m do 4 000 m, a rasadnika 3 000 m do 6 000 m cijevi (Slika 20).



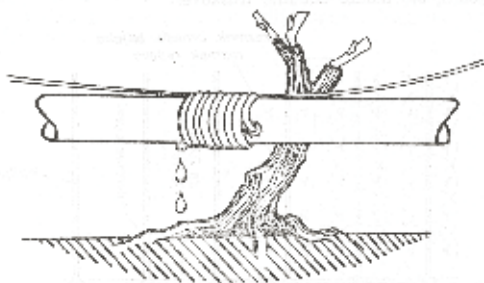
Slika 20: Shematski prikaz sustava navodnjavanja „kap po kap“

**Kapaljke** su hidrauličke naprave koje raspodjeljuju vodu na tlo u formi pojedinačnih kapi. Izrađene su od plastike, a ima ih mnogo vrsta i tipova. Gotovo svaki proizvođač opreme ima vlastite konstrukcije kapljača. U principu su to vrlo jednostavne i male naprave sa sitnim rupicama ili posebnim izvedbama kuda protječe voda gubeći svoj pritisak, tako da se pri izlasku formiraju kapi. Zbog svojih minijaturnih promjera otvora, na kapaljka često dolazi do začepljenja, a time i prestanka rada te ih je potrebno zamijeniti.

Kapaljke su raspoređene na lateralnom cjevovodu na razmacima od 10 cm do 100 cm, ovisno o gustoći sklopa. Kod povrća, cvijeća i voćnih sadnica oni su mnogo gušće postavljeni, a u trajnim nasadima voća rjeđe. Mogu se ugrađivati kao sastavni dio lateralne cijevi – onda su to „linijski“ kapljači ili sa strane cijevi takozvani „bočni“ kapljači.

Broj kapaljki po jedinici površine zavisi od kultura i prilično je veliki, te se kreće od 2 000 do 5 000 komada kod voćnjaka, oko 20 000 kapljača kod navodnjavanja povrća, cvijeća ili voćnih sadnica. Protok vode pojedine kapaljke je između 2 l/h do 10 l/h.

Lateralne cijevi s kapaljka se mogu položiti na tlo, na primjer kod povrća i cvijeća, ili izdići iznad njega, kako se to obično radi u voćnjacima i vinogradima (Slika 21), pa ne ometaju rad poljoprivrednih strojeva.



Slika 21: Kapaljka na trsu vinove loze

**Navodnjavanje kapanjem prikladno je samo za vrlo intenzivne, i dohodovne kulture koje mogu „platiti“ visoke troškove izgradnje, korištenja i održavanja sustava.**

Najčešće se koristi u uzgoju voća, povrća, cvijeća te sadnog materijala. Danas je kapanje našlo veliku primjenu u staklenicima i plastenicima kod uzgoja cvijeća ili raznih eksperimentalnih namjena na drugim poljoprivrednim i šumarskim kulturama.

Troškovi izgradnje sustava kapanjem su visoki zbog izuzetno velikih količina plastičnih cijevi i kapljača na jediničnoj površini zemljišta. Budući da je plastika svakim danom sve skuplja (derivat nafte), to je i investicijska cijena uređaja velika. Ali su zato troškovi rada i korištenja kapanja manji nego kod drugih načina navodnjavanja i podnošljivi su za korisnika. Uređaji za navodnjavanje kapanjem troše malo energije i vode. Pri polaganju cijevi u redove kultura potrebno je nešto više ljudskog rada, te se danas već primjenjuju razne inačice poboljšanja manipulacije plastičnim cijevima na navodnjavanoj površini.

Uz dodavanje vode putem uređaja za navodnjavanje kapanjem, poljoprivredne kulture se „prihranjuju“ topivim mineralnim hranjivima pomoću uređaja koji se nazivaju „fertirigatori“, što čini sustav još efikasnijim u eksploataciji. Održavanjem optimalnog sadržaj vode u tlu te istovremeno prihranom bilja, postižu se vrlo visoki prinosi i kvaliteta plodova poljoprivrednih kultura. To je velika prednost i izuzetno pozitivna karakteristika ovoga načina navodnjavanja.

Ukupne prednosti i dobre karakteristike navodnjavanja kapanjem mogle bi se sažeti u sljedećem:

- troše se male količine vode i energije;
- vlaži se samo mala zona oko biljke i unutar redova, a međuredni prostor ostaje suh;
- postižu se veći prinosi i bolja kvaliteta plodova uzgajanih kultura;
- automatski rad i kontrola uređaja pomoću elektronike;
- troškovi eksploatacije i održavanja sustava su relativno mali u odnosu na druge irigacijske sustave;

Kao i svaki drugi tehnički sustav, tako i navodnjavanje kapanjem ima određenih nedostataka, a to su:

- visoka cijena izgradnje i opreme sustava;
- navodnjavaju se samo visokodohodovne kulture;
- često začepljenje kapaljki i potreba zamjene;
- troškovi sakupljanja i zbrinjavanja pojedinih elemenata (cijevi) po završetku vegetacije;
- otežano kretanje strojeva po proizvodnoj površini.

Navodnjavanje kapanjem je u velikoj ekspanziji u svim zemljama pa tako i u Hrvatskoj posljednjih godina. U nas ga najviše ima u staklenicima i plastenicima te voćnjacima, kao i na površinama povrtnih kultura.

Veliki interes za kapanjem se javlja kod individualnih proizvođača (farmera i poduzetnika) koji su se specijalizirali za pojedine biljne proizvodnje, kao na primjer povrće, cvijeće i voće. Mnogi od njih su sami vrlo maštovito izradili vlastite sustave koji odlično funkcioniraju. Želimo i ovim prikazom ohrabriti sve entuzijaste i inovatore da svojim znanjem, a na temelju opisanih principa navodnjavanja kapanjem, slobodno pridu vlastitim konstrukcijama opreme prikladne za konkretne terene i kulture.

## NAVODNJAVANJE MINI RASPRSKIVAČIMA („mali rasprskivači“)

Navodnjavanje mini rasprskivačima novijeg je datuma i alternativa je sustavima kapanja. Danas se sve više širi u poljskim uvjetima, naročito za uzgoj voćarskih i povrćarskih kultura. Također je pogodno za intenzivni uzgoj u staklenicima i plastenicima.

Sustavi navodnjavanja mini rasprskivačima slični su sustavima kapanja. Glavna razlika je što su kapaljke zamijenjene mini rasprskivačima – malim rasprskivačima. Mini rasprskivači raspršuju vodu u obliku sitnih kapljica, pod tlakom do 3,5 bara i u dometu do 5 m. Mini rasprskivač je izrađen od plastičnih materijala te ga je moguće jednostavno postaviti i na kraju vegetacije demontirati te premeliti za iduću sezonu.

Sustav se sastoji od: crpke na izvorištu vode, regulatora tlaka, vodomjera, raznih kontrolnih ventila, plastičnih cijevi za dovođenje i razvođenje vode po parceli i mini rasprskivača. Zbog većeg protoka i radnog tlaka mini rasprskivači se manje začepljuju u odnosu na kapaljke.

Glavni cjevovod i lateralne cijevi su izrađene od gipkih plastičnih, polietilenskih cijevi na koje se postavljaju mini rasprskivači. Postoje različiti oblici priključaka i nosača za mini rasprskivače. Oni se vrlo lako utisnu u stijenke lateralnih cijevi. Na priključak rasprskivača može se spojiti određeni tip rasprskivača s različitim protocima.

Temeljna je odlika lokaliziranog navodnjavanja kapanja i mini rasprskivača da se svi dijelovi uređaja mogu jednostavno i brzo zamijeniti. Zato je navodnjavanje mini rasprskivačima prilagodljivo svim zahtjevima, potrebama i uvjetima rada. Cijeli je uređaj male težine i predstavlja nadzemnu instalaciju, koja se lako i brzo premješta.

Mini rasprskivači se danas proizvode u različitim izvedbama, oblicima i tipovima. Imaju različite protoke, domete i rade pod različitim tlakom. Ravnomjerno raspoređuju vodu u cijelom dometu prskanja. Izvrsno navodnjavaju teren i kulture, ali služe i kao regulatori mikroklimе jer svojim radom utječu na povećanje relativne vlažnosti zraka.

Svaki mini rasprskivač ima svoje vlastite odlike koje se mogu naći opisane u katalozima i ponudama proizvođača opreme. Koristeći kataloge i tehničku dokumentaciju važno je pravilno izabrati mini rasprskivač za određene kulture i uvjete u praksi.

#### 4. ODREĐIVANJE ELEMENATA NAVODNJAVANJA

Kod primjene navodnjavanja mnogo je pitanja na koja krajnji korisnik traži odgovore.

Koliku ukupnu količinu vode treba dodati? (NORMA NAVODNJAVANJA)

Koliku količinu vode dodati prilikom svakog navodnjavanja? (OBROK NAVODNJAVANJA)

Koliko puta treba navodnjavati? (BROJ NAVODNJAVANJA)

U kojem trenutku uključiti sustav navodnjavanja? (TRENUTAK NAVODNJAVANJA)

Koliko dugo treba trajati navodnjavanje? (TRAJANJE NAVODNJAVANJA)

Hoće li izvor vode biti izdašan za potrebne navodnjavanje? (POTREBNE KOLIČINE VODE ZA NAVODNJAVANJE)



Slika 22: Mnogo je pitanja prije navodnjavanja

Da bi se odgovorilo na navedena pitanja potrebno je individualno pristupiti i odrediti karakteristike tla, klimatske uvjete i zahtjeve određene kulture za vodom. Dakle, nema formule u koju bi se bez izlaska na teren, samo obradom za računalom dobile potrebne vrijednosti za uspješno navodnjavanje. Kad počne proizvodnja u uvjetima navodnjavanja, potrebno je stalno praćenje situacije na terenu da bi se u određenom trenutku moglo ispravno intervenirati.

U daljnjem tekstu ćemo pojasniti odgovore na navedena pitanja.

## 4. 1. NORMA NAVODNJAVANJA

Norma navodnjavanja je osnovni element i prvi korak kod određivanja elemenata navodnjavanja, a predstavlja ukupni nedostatak (deficit) vode u vegetaciji jedne kulture.

Prema definiciji izvedena je i formula za izračun norme navodnjavanja.

Pojednostavljeno, norma navodnjavanja određuje se tako da se od ukupno potrebne vode oduzme ukupno raspoloživa voda u vegetaciji.

U matematičkom obliku:

$$N_n = \sum P_v - \sum R_v \quad \text{gdje je}$$

$N_n$  = norma navodnjavanja (mm)

$\sum P_v$  = ukupno potrebna količina vode biljci u vegetaciji (mm)

$\sum R_v$  = ukupno raspoloživa voda u vegetaciji (mm)

Međutim, ovaj jednostavan matematički izraz nije jednostavno objasniti, jer nameće se pitanje kako odrediti koja je to količina vode potrebna biljkama? Što ona ustvari predstavlja?

### 4.1.1. POTREBNA KOLIČINA VODE

Ukupno potrebna voda u vegetaciji je vrijednost EVAPOTRANSPIRACIJE. A što je evapotranspiracija?

Evapotranspiracija je ukupna količina vode koja se gubi procesima EVAPORACIJE i TRANSPIRACIJE sa određene površine u određenom vremenu.

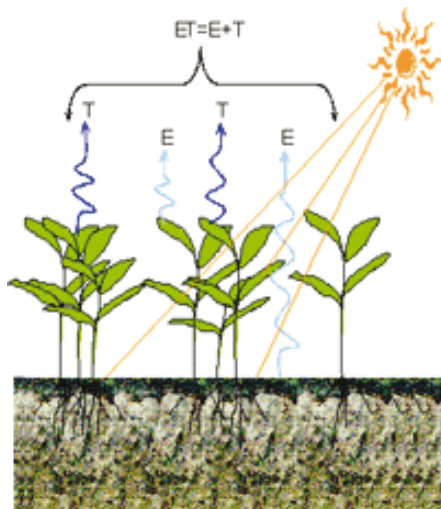
EVAPORACIJA je voda koja se gubi s površine tla isparavanjem.

TRANSPIRACIJA je gubitak vode iz biljke. Putem korjenovog sustava biljka uzima vodu koja kola kroz biljku, sudjeluje u složenim biokemijskim procesima i preko lista (puči) odlazi u atmosferu.

Na procese evapotranspiracije (ETP) utječu klimatski uvjeti (temperatura zraka, vjetar, relativna vlaga zraka), nagib terena, boja tla, pokrivenost tla...

Određivanje evapotranspiracije može se obavljati se na dva načina. Eksperimentalno (direktno) i preko određenih modela (proračuna) koji se temelje na klimatskim i nekim drugim elementima (indirektno).

Eksperimentalno utvrđivanje ETP se izvodi pomoću sofisticiranih lizimetarskim stanicama. Ovakav način je vrlo precizan ali je vrlo skup i dugotrajan te traži stručnu osposobljenost i obavljaju ga znanstvene institucije.



Slika 23: Shematski prikaz evapotranspiracije  
(izvor: <http://www.cimis.water.ca.gov/cimis/images/eto>)

Drugi je način putem raznih modela koji se temelje na znanstvenim spoznajama. Činjenica da nema univerzalne formule za izračunavanje evapotranspiracije dovoljno govori o njenoj složenosti. Gotovo je nemoguće u jedan model uvrstiti sve čimbenike evapotranspiracije, pa tako različiti autori u svojim formulama «favoriziraju» neke od čimbenika evapotranspiracije. Tako se u nekim modelima izračun temelji na temperaturi zraka (Thornthwait, Ivanov, Šarov..), dok drugi izračunavaju deficit vlažnosti zraka (Alpatjev), ili pak koeficijete kultura (Blaney-Criddle).

Za praktičnu primjenu prihvatljiv je način izračuna primjenom računalnog modela „CROPWAT“ koji su preporučili i stručnjaci FAO-a.

#### 4.1.2. RASPOLOŽIVA VODA

Raspoloživa voda predstavlja vodu u tlu koja je biljkama na raspolaganju tijekom vegetacije, a čine ju:

- ❖ Oborine
- ❖ Rezerva vode u tlu
- ❖ Priliv od podzemne vode

Oborine: Od ukupnih količina oborina nisu sve biljkama na raspolaganju. One količine oborina koje su biljkama pristupačne predstavljaju efektivne oborine.

U tlo se obično upije oko 80% ukupno palih oborina i to su – efektivne oborine. Vrijednost efektivnih oborina ovisi o intenzitetu oborina, upijanju, otjecanju, nagibu terena, svojstvima

tla, pokrivenosti tla i sl. U ukupnom zbroju oborina ne računaju se oborine koje su manje od 3 mm/dan, a u ljetnom razdoblju oborine manje od 5 mm/dan.

**Rezerva vode u tlu:** Tijekom zimskog razdoblja u tlu se nakuplja određena količina vode u tlu, a koja je na raspolaganju biljkama na početku vegetacije (jare kulture).

**Podzemna voda:** Podzemna voda se ascendentnim gibanjem kreće prema površini tla i korjenovoj zoni. Voda se u tlu kreće od mjesta veće vlažnosti prema mjestu manje vlažnosti. Zbog toga će se podzemna voda kretati prema površini tla koja je manje vlažna jer je površinski sloj prosušen zbog utjecaja vjetra, niske relativne vlage zraka, temperature, usvajanja vode od strane biljke.

**Izračunata vrijednosti norme navodnjavanja** predstavlja količinu vode koju trebamo dodati u vegetaciji ali u praktičnoj primjeni navodnjavanja dolazi do određenih gubitaka prilikom navodnjavanja. Gubici vode nastaju uslijed isparavanja prilikom navodnjavanja kod visokih temperatura, zatim dio dodane vode površinski otječe te zbog određenih tehničkih performansi sustava za navodnjavanje (gubici na spojevima, oštećenja i sl.).

Zbog navedenih gubitaka vode, izračunatu normu navodnjavanja (koje se naziva neto norma navodnjavanja) potrebno je povećati da bi se nadoknadili gubici vode. Povećanje se vrši pomoću koeficijenta iskorištenja vode te se dobije tvarna, odnosno bruto NORMA NAVODNJAVANJA.

Koeficijent iskorištenja vode je manji od 1 a vrijednosti iznad 0,8 govore o malim gubicima vode pri navodnjavanju. Vrijednost koeficijenta iskorištenja vode zavisi od mnogih momenata prilikom navodnjavanja, kao što su: klimatske prilike, tehničke performanse sustava, način dovoda i raspodjele vode.

## 4.2. OBROK NAVODNJAVANJA

Izračunom norme navodnjavanja (bruto i neto) znamo kolika je količina vode koju biljkama trebamo dodati u vegetaciji. Normu navodnjavanja je potrebno raspodijeliti u nekoliko OBROKA NAVODNJAVANJA. Što je obrok navodnjavanja?

Obrok navodnjavanja je količina vode koju dodajemo u jednom navodnjavanju. Iz navedenog proizlazi da je obrok navodnjavanja dio norme navodnjavanja. Zbroj svih obroka navodnjavanja predstavlja normu navodnjavanja.

Obroci navodnjavanja nisu jednaki tijekom cijele vegetacije. Primjerice, u početnim fazama razvoja, kad navodnjavanje obavljamo odmah nakon sjetve, dodajemo manje količine (manji obroci navodnjavanja) voda sa ciljem stvaranja povoljnih uvjeta za klijanje i nicanje sjemena. Također, ako vršimo osvježavajuća navodnjavanja (na primjer kod sjemenskog kukuruza) obroci navodnjavanja će biti manji. Rastom i razvojem biljke povećava se i potreba biljke za vodom. Rastom biljke korijen prodire u dublje slojeve pa ćemo povećavati i obrok navodnjavanja.

Što se obrokom navodnjavanja želi postići?

U početnom dijelu materije ovog priručnika objašnjen je pojam poljskog vodnog kapaciteta i lentokapilarne vlažnosti tla. Dakle, da ponovimo najjednostavnije rečeno: poljski vodni kapacitet (PVK) je optimalno stanje vlažnosti tla, a lentokapilarna vlažnost tla (LKV) je sadržaj vode u tlu kada počinje otežana opskrba biljke sa vodom.

Obrokom navodnjavanja želi se navlažiti tlo do stanja poljskog vodnog kapaciteta. Da bismo znali koliko vode moramo dodati potrebno je poznavati vrijednost poljskog vodnog kapaciteta za određeno tlo i trenutačnu vlažnost tla. Dakle, razlika između poljskog vodnog kapaciteta i trenutačne vlažnosti tla je obrok jednog navodnjavanja. Vrijednost obroka navodnjavanja određuje i dubina tla do koje navodnjavanjem želimo navlažiti tlo, a ona ovisi o dubini razvoja korjena, vrsti kulture i tla, i o razvojnoj fazi biljke. Opće je pravilo da se teksturno lakša - pjeskovita tla navodnjavaju učestalije s manjim obrocima, a teksturno teža - glinasta tla podnose veće obroke i rjeđe navodnjavanje.

Ovisno o tome jesu li vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta i trenutne vlažnosti tla izražene u masenim ili volumnim postotcima (%), obrok navodnjavanja se računa na dva načina:

- Vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta i trenutne vlažnosti izražene u masenim %:

$$O = 100 \cdot vt \cdot h \cdot (PVK - T)$$

- Vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta i trenutne vlažnosti izražene u volumnim %:

$$O = 1000 \cdot h \cdot (PVK - T)$$

gdje je

O = obrok navodnjavanja u m<sup>3</sup>/ha  
vt = gustoća tla u g/cm<sup>3</sup>  
h = dubina do koje se vlaži tlo (m)  
PVK = poljski vodni kapacitet  
T = trenutačna vlažnost tla

#### 4.3. BROJ NAVODNJAVANJA

Teoretske vrijednosti broja navodnjavanja dobiju se tako da se norma navodnjavanja podjeli sa obrokom navodnjavanja. Stvarni broj navodnjavanja ovisi o oborinama i stanju vlažnosti tla.

$$\text{Broj navodnjavanja} = N : O$$

gdje je

N = norma navodnjavanja (mm)

O = obrok navodnjavanja (mm)

#### **4.4. TRENUTAK POČETKA NAVODNJAVANJA**

Kod navodnjavanja je veoma važno odrediti pravilan trenutak kada treba započeti sa navodnjavanjem.

Ako s navodnjavanjem počnemo prije nego što je to potrebno i ako navodnjavamo prečesto, nepotrebno ćemo potrošiti veće količine vode i energije, što će financijski opteretiti proizvodnju. Osim toga, narušit će se fizikalna svojstva tla, hranjive tvari će se ispirati u dublje slijeve i biti će slabije pristupačna biljci, što također ima za posljedicu negativan ekonomski i ekološki učinak.

Ukoliko sustav za navodnjavanje nije u funkciji kad je to biljci potrebno te ukoliko se navodnjavanje provodi s manjim količinama vode od potrebnih, tada nam instalirani sustav za navodnjavanje ne ostvaruje željeni i planirani financijski učinak. Navodnjavanje je manje rentabilno.

Danas se u praksi trenutak početka navodnjavanja može odrediti na nekoliko načina:

- prema izgledu biljke
- prema unutarnjim fiziološkim promjenama biljke
- prema turnusima navodnjavanja
- prema kritičnom razdoblju biljke za vodu
- prema procjeni vlažnosti tla
- prema stanju vlažnosti tla

##### **4.4.1. ODREĐIVANJE TRENUTKA POČETKA NAVODNJAVANJA PREMA VANJSKOM IZGLEDU BILJKE**

To je najstariji način određivanja trenutka početka navodnjavanja. Temelji se na procjeni promjena na biljkama – promjeni boje i izgleda lišća (uvelost). Međutim sve biljke ne reagiraju jednako na nedostatak vode. Kada kod nekih biljaka nedostatak vode postane vidljiv to može značiti da je biljka već pretrpjela ozbiljne štete i dodavanje vode nakon tih vidljivih simptoma neće pomoći biljci da se u potpunosti oporavi. Šteta je već nastupila.

Kod nekih biljaka, na primjer kod suncokreta, pojava uvelosti lišća i smanjenje turgora je oblik borbe biljke protiv suše jer se time smanjuje gubitak vode u toplom dijelu dana. Tijekom noći, biljka nema simptome uvelosti lišća. Prema vidljivim znakovima venuća izgledalo bi da treba početi sa navodnjavanjem, a ustvari navodnjavanje još nije potrebno.

Ovakav način određivanja trenutka navodnjavanja je nesiguran i treba ga izbjegavati jer su moguće greške u procjeni, a navodnjavanje je skupa investicija da bi se dozvolilo mogućnost česte pogreške.

#### **4.4.2. ODREĐIVANJE TRENUTKA POČETKA NAVODNJAVANJA PREMA UNUTARNJIM FIZIOLOŠKIM PROMJENAMA BILJKE**

Ovakav način određivanja trenutka početka navodnjavanja je dosta složen, a bazira se na tome da promjena sadržaja vode u tlu ima za posljedicu i promjenu u koncentraciji staničnog soka u listovima. Za određivanje koncentracije staničnog soka koristi se refraktometar.

#### **4.4.3. ODREĐIVANJE TRENUTKA NAVODNJAVANJA PREMA TURNUSIMA NAVODNJAVANJA**

Turnus navodnjavanja je vremensko razdoblje (u danima) između dva navodnjavanja. Teoretski se turnus izračunava tako da se obrok navodnjavanja podjeli sa dnevnim utroškom vode od strane biljke.

$$T = O : Du$$

gdje je

T = turnus navodnjavanja u danima

O = obrok navodnjavanja (mm)

Du = dnevni utrošak vode (mm/danu)

Za određivanje dnevnog utroška vode potrebno je poznavati mjesečnu vrijednost evapotranspiracije koja se podjeli sa brojem dana za koji se mjesec određuje (30 ili 31 dan).

Izračunati turnusi navodnjavanja ne mogu se kruto primjenjivati, već se korigiraju s oborinama. Primjerice, ukoliko padne više od 25 mm oborina turnus se produžava za još jedan cijeli turnus. Ako između dva turnusa padne 10 do 25 mm oborina navodnjavanje se odgađa za pola turnusa, a oborine manje od 10 mm se zanemaruju i ne odgađaju turnus navodnjavanja. Iz navedenog se može zaključiti da je ovakav način određivanja trenutka navodnjavanja pogodan za sušna (aridna) područja gdje izostaju oborine. Osim toga, trenutak navodnjavanja pomoću turnusa, pogodan je za zaštićene prostore gdje nema priliva prirodnih oborina.

Turnusi navodnjavanja se primjenjuju i na otvorenom uzgoju, na velikim površinama koje se podijele na manje parcele. Tada rasporede navodnjavanje treba uskladi sa turnusima na taj način da završetkom navodnjavanja zadnje parcele treba početi navodnjavati parcelu koja je bila prva navodnjavana.

#### **4.4.4. ODREĐIVANJE TRENUTKA POČETKA NAVODNJAVANJA PREMA KRITIČNOM RAZDOBLJU BILJKE ZA VODU**

Ovakav način određivanja trenutka početka navodnjavanja bazira se na poznavanju faza razvoja određene kulture i njezine potrebe za vodom. Nije u potpunosti pouzdan jer grubo određuje navodnjavanje u onoj fazi razvoja biljke koja je vrlo kritična, ne uvažavajući

mogućnost navodnjavanja prije ili nakon završetka kritične faze ako to zahtijevaju nepovoljne klimatske prilike.

#### **4.4.5. ODREĐIVANJE TRENUTKA POČETKA NAVODNJAVANJA PREMA PROCJENI VLAŽNOSTI TLA**

Temelji se na proizvoljnoj procjeni vlažnosti tla. Za određivanje trenutka početka navodnjavanja ova metoda je neprihvatljiva, ali može imati određenu vrijednost kod iskusnih agronoma, ali za određivanje trenutka za početak obrade tla (jer se njime utvrđuje plastičnost tla) ili neke druge agrotehničke radnje.

#### **4.4.6. ODREĐIVANJE TRENUTKA POČETKA NAVODNJAVANJA PREMA STANJU VLAŽNOSTI TLA**

Ovaj način određivanja trenutka početka navodnjavanja se najviše primjenjuje u praksi. Prema stanju vlažnosti tla sa navodnjavanjem treba početi kada je sadržaj vode u tlu na dubini koju želimo navodnjavati jednak vrijednosti lentokapilarne vlažnosti tla. Teoretski izgleda vrlo jednostavno, ali javlja se problem određivanja trenutačnog sadržaja vlažnosti tla, odnosno poznavanje vrijednosti lentokapilarne vrijednosti i poljskog vodnog kapaciteta.

Kako izmjeriti vlažnost tla?

Postoji više načina mjerenja vlažnosti tla, a može se obaviti izravno na terenu ili posredno u laboratoriju.

Laboratorijsko mjerenje vlažnosti tla je preciznije ali sporo i nepraktično, jer zahtjeva uzimanje uzoraka tla i obradu u laboratoriju.

Mjerenje na terenu obavlja se raznim instrumentima, a rezultati o stanju vlažnost tla se utvrđuju trenutno i moguće je vrlo brzo intervenirati sa navodnjavanjem.

#### **4.5. TRAJANJE NAVODNJAVANJA**

Koliko dugo će trajati jedno navodnjavanje ovisi o količini vode koju trebamo dodati navodnjavanjem (obrok navodnjavanja) i intenzitetu navodnjavanja.

Ako trajanje navodnjavanja želimo odrediti kod primjene sustava navodnjavanja kišenjem, tada obrok navodnjavanja podijelimo sa intenzitetom navodnjavanja, odnosno količinom vode (mm) koja u jedinici vremena (minuti) padne na navodnjavanu površinu.

U tehničkim podacima za određeni sustav navodnjavanja mogu se naći i vrijednosti za intenzitet, ali najbolje ga je odrediti egzaktno na terenu za svaki sustav.

Intenzitet navodnjavanja se računa prema slijedećoj formuli

$$I = q : P$$

gdje je

I = intenzitet navodnjavanja (kišenja) u mm/min

q = protoka rasprskivača (l/min)

P = površina kišenja jednog rasprskivača (m<sup>2</sup>)

Poznavanje intenziteta navodnjavanja je važno za usklađivanje intenziteta navodnjavanja sa intenzitetom upijanja vode u tlo (vrijednosti infiltracije). Ukoliko je intenzitet kišenja veći od sposobnosti upijanja vode u tlo (infiltracije), može doći do zadržavanja vode na površini tla tijekom i nakon navodnjavanja.

#### **4.6. UKUPNO POTREBNE KOLIČINE VODE ZA NAVODNJAVANJE**

Za navodnjavanje su potrebne značajne količine vode. Za izračun ukupnih količina voda za navodnjavanje koje treba osigurati navodnjavanjem potrebno je vrijednost norme navodnjavanja pomnožiti sa veličinom površine koju želimo navodnjavati.

Dakle, potrebno je projektirati sustav, a naročito izvor vode koji će biti izdašan i osigurati potrebne količine vode.

## 5. CROPWAT

CROPWAT je računalni program kojeg su osmislili stručnjaci FAO-a. Program je nastao u svrhu ubrzanja postupka izračunavanja evapotranspiracije, potreba za vodom i modeliranja u natapanju. Osnovna uloga ovog programa je:

- Računanje:

- Referentne evapotranspiracije
- Potrebe biljaka za vodom
- Potrebe za navodnjavanjem

- Izrada:

- Rasporeda navodnjavanja
- Sheme opskrbe vodom

CROPWAT je zamišljen kao jednostavan alat koji je od koristi meteorolozima, agronomima i inženjerima kako bi računali standardne izračune za evapotranspiraciju i proučavali potrebne količine vode i shemu navodnjavanja. Sadrži preporuke za unaprijeđenje prakse navodnjavanja, plan navodnjavanja pod različitim uvjetima i čimbenicima i procjenu proizvodnje u uvjetima suše ili nedostatka navodnjavanja.

Izračun potrebe biljaka za vodom i potrebe za navodnjavanjem se temelji na unesenim podacima o klimi i kulturi. Standardni podaci o kulturi su uneseni u program, a podaci o klimi se unose posebno jer oni ovise o području za koji se pravi izračun. Podaci o klimi za 144 zemlje se može dobiti u bazi podataka CLIMWAT.

Izrada plana za navodnjavanje i procjena potrebe za navodnjavanjem se temelji na dnevnim vrijednostima tlo-voda, koristeći različite opcije opskrbe vodom i uvjete navodnjavanja. Sheme snabdijevanja vodom su računate prema uzorcima za pojedinu kulturu.

CROPWAT sadrži i preglednu metodu procjene evapotranspiracije, koristeći Penman-Monteith metodu koju su preporučili stručnjaci FAO-a 1990. u Rimu.

Za izračun su potrebni slijedeći podaci:

**Referentna evapotranspiracija** (ET<sub>o</sub>) koju se može unijeti direktno iz programa ili se podatak može izračunati Penman-Monteith metodom.

ET<sub>o</sub> se računa tako što se unesu mjesečne klimatske vrijednosti:

- Temperatura zraka: podaci se unose u stupnjevima Celzijusa kao prosječne mjesečne vrijednosti ili kao maksimalne i minimalne mjesečne vrijednosti;
- Vлага zraka: vrijednosti za vlagu zraka mogu biti prikazane u postotcima (10 do 100) ili kao pritisak pare u kPa (1 do 9). Program automatski razlikuje da li su vrijednosti izražene kao relativna vлага zraka (10 do 100%) ili kao pritisak pare (do 10 kPa).
- Brzine vjetra: podaci o brzini vjetra mogu biti u km/dan (vrijednosti veće od 10) ili u m/s (vrijednosti manje od 10);

- Dnevno osunčanje: može biti prikazano kao postotak (20 do 100 %) kao odnos sijanja sunca/dužina dana ili kao frakcija (0 do 10) sijanja sunca/dužina dana ili kao sati sijanja sunca (1 do 20).

## 5.1. POTREBA BILJAKA ZA VODOM

Dio programa koji izračunava potrebu biljaka za vodom je osnova CROPWAT računalnog programa.

### Mjesečne vrijednosti $E_{To}$ i količina oborina

U ovom dijelu unosimo izračunate vrijednosti  $E_{To}$ , a prije unosa količine oborina one se moraju statistički obraditi kako bi se dobile mjesečne vrijednosti oborina za suhe, vlažne i prosječne godine. Iz dobivenih vrijednosti se računaju efektivne oborine.

Efektivne oborine se mogu računati na sljedeće načine:

1. Fiksni postotak oborina;
2. Pouzdanost oborina;
3. Empirijska formula;
4. USDA Soil Conservation Service Method.

### Podaci o kulturi

Za kulturu za koju želimo izvršiti proračun unosimo sljedeće podatke:

- dužina u danima pojedinih etapa rasta – za unos podataka kultura, vegetacijski period je podijeljen na sljedeće faze razvoja:

- ❖ Početna faza (A)
- ❖ Razvojna faza (B)
- ❖ Središnja (C)
- ❖ Kasna faza (D)
- ❖ Izračunata ukupna dužina trajanja vegetacije.

- koeficijente kultura za svaku pojedinu etapu rasta – određeni su za početnu (A) i središnju fazu (C) i žetvu, a za razvojnu fazu se interpoliraju. Na temelju ovih pokazatelja može se nacrtati krivulja koeficijenata kulture.

- dopušteno iznošenje – predstavlja kritičnu razinu sadržaja vode u tlu, gdje sušni stres šteti evapotranspiraciji i kulturi.

- čimbenike utjecaja prinosa – procjena smanjenja na prinos preko sušnog stresa i treba biti određen za svaku fazu razvoja.

- planirani datum sjetve – ovaj podatak se unosi posebno od ostalih podataka kulture. Datum sjetve je određen klimatskim uvjetima i lokalnom agronomskom praksom. Podaci se unose tako da se unese planirani datum sjetve, a program automatski izračunava datum žetve.

### **Izračun potreba biljaka za vodom**

Nakon unesenih podataka i preračuna, prikazuju se sljedeći podaci:

- ❖ Mjeseci;
- ❖ Dekade;
- ❖ Faze razvoja;
- ❖ Koeficijent kultura  $K_c$  –određen je za svaku dekadu i konstantan za početnu i središnju fazu, a razvojnu i kasnu fazu dobivene su linearnom interpolacijom;
- ❖ ET kulture mm/dan –  $ET\ kulture = K_c * E_{to}$ ;
- ❖ ET kulture mm/dekadu i godišnje vrijednosti – dobiva se množenjem efektivne evapotranspiracije s 10 osim prvu i posljednju dekadu gdje se datum sjetve i žetve ne mora poklapati s početkom i krajem dekade;
- ❖ Ef oborine mm/dekadu i godišnje vrijednosti;
- ❖ Potreba biljaka za vodom mm/dekadu i godišnje vrijednosti.

## **5.2. POTREBE ZA NAVODNJAVANJEM**

Potreba biljaka za vodom je definirana kao dnevni nedostatak vode za biljke, koji je izračunat prethodno na osnovi klimatskih podataka i podataka kulture ( $K_c$ , dužine pojedinih faza razvoja). To predstavlja dnevno primanje vode u tlu u zoni korijena putem evapotranspiracije kulture.

## **5.3. RASPORED NAVODNJAVANJA**

Važni parametri za raspored navodnjavanja su:

- ❖ Pristupačan sadržaj vode u tlu – sadržaj vode u tlu između poljskog vodnog kapaciteta (PVK) i vlažnost venjenja (VV). Predstavlja količinu pristupačne vode za biljku koja ovisi o strukturi, teksturi, sadržaju organske tvari u tlu. Vrijednost se izražava u mm/m.
- ❖ Početno smanjenje vlažnosti tla – suhoća tla na početku sezone. Početna vlažnost tla je izražena kao smanjenje postotka vlažnosti tla od PVK. Vrijednost 0 % predstavlja tlo potpuno zasićeno vodom, a 100% je točka venuća. U većini slučajeva samo procjenom se može odrediti početno stanje vlažnosti ovisno o prethodnoj kulturi i razdoblju prethodne obrade ili sušnog razdoblja.
- ❖ Maksimalna dubina korijena – iako je određena kao nasljedna osobina biljke, u nekim primjerima tla i određeni raspored slojeva tla može utjecati na smanjenje dubine

korijena. Vrijednost od 900 cm je proizvoljna koja ne pokazuje ograničavajuću dubinu.

- ❖ **Maksimum kiše** – infiltracija, uzima se u obzir procjena površinskog otjecanja za izračunati efektivne oborine i izračunava se u mm/dan. Vrijednost može biti limitirana maksimalnom vrijednošću kiše koja se može upiti u tlo bilo koji dan kao funkcija intenziteta kiše, tipa tla i nagiba tla. Uobičajene vrijednosti su 30 mm/dan.

Program za **raspored navodnjavanja** uzima u obzir nekoliko mogućnosti, ovisno o zadatku navodnjavanja i uvjetima i ograničenjima. Može biti određeno stvarnim podacima sa polja ili simuliranim podacima. Ovakav način je upotrebljiv za procjenu prakse navodnjavanja, za simuliranje alternativnih rasporeda navodnjavanja.

### **Optimalno navodnjavanje**

Navodnjavanje kod kritičnog smanjenja vlage – nema ograničenja u vremenu primjene, pristupačnosti i opskrbe vodom za navodnjavanje. Primjenjuje se kada je razina kritične vlage tla dostigla lakopristupačnu vrijednost označenu kao 100% RAM. Ovaj način rasporeda navodnjavanja rezultira minimumom navodnjavanja, ali nepravilnim i na žalost nepraktičnim razmakom između navodnjavanja. Navodnjavanje ispod ili iznad kritičnog smanjenja vlage (%) – primjenjuje se kada je postignuta određena razina vlage u tlu, definiran postotkom RAM (lakopristupačne vlage tla). Sa sigurnošću se može upotrijebiti kada je postignut sadržaj vlage ispod kritične vlage tla.

### **Praktično navodnjavanje**

Navodnjavanje u fiksnim intervalima po fazama razvoja – prikladno za gravitacijske sustave s rotacijskom raspodjelom vode postavljen je u većini sustava. Premda rezultati mogu biti preveliki u početnom navodnjavanju, a nedovoljni na vrhuncu vegetacije. Fiksni razmak između navodnjavanja daje veliku prednost.

Navodnjavanje kod fiksnog smanjenja (mm) – primjenjuje se kada je unaprijed utvrđena vrijednost vode koja će biti smanjena. Ova metoda je prilagođena za raspored navodnjavanja za poljske metode i raspored navodnjavanja je dat za svako navodnjavanje.

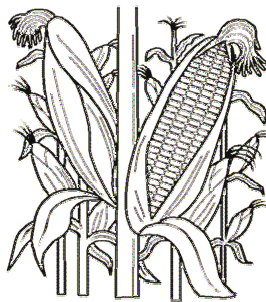
## 6. NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH KULTURA

### 6. 1. NAVODNJAVANJE KUKURUZA

*Zea mays* L.

#### Potrebe za vodom

Kukuruz je otporan na sušu, ekonomično troši vodu, transpiracijski koeficijent mu je mali 250 mm – 400 mm. Biljka formira veliku vegetativnu masu, daje visoke prinose, ima dugu vegetaciju ali i zahtjeva i troši ukupno velike količine vode. Uspješno prebrodi sušu, koristeći teže pristupačne oblike vode iz aktivne rizosfere i vodu iz dubljih slojeva tla, ali u takvim uvjetima daje niske prinose.



Dobro iskoristi i minimalne oborine, zahvaljujući obliku i položaju lišća, niz koje se voda slijeva preko stabljike i vlaži zemljište uz samu biljku, odakle je usvajaju žilice adventivnog korijenja.

U literaturi su navedene različite vrijednosti potrebe kukuruza za vodom, što ovisi o dužini vegetacijske sezone, grupi zrenja i agroekološkim uvjetima gdje se usjev uzgaja. U uvjetima koji vladaju na našem području, primjenom različitih sustava počevši od empirijskih procjena, obračunskih postupaka pa do eksperimentalnih mjerenja sa lizimetrima i u poljskim uvjetima više autora je odredilo različite potrebe kukuruza za vodom (od 418 mm do 642 mm).

Vrijednost evapotranspiracije (ET<sub>c</sub>) za kukuruz je utvrđena u kombinaciji navodnjavanja kod vrijednosti 60% PVK, što odgovara konstanti tla lentokapilarne vlažnosti i ona je od 450 mm do 530 mm u ovisnosti od vremenskih prilika.

Potreba kukuruza za vodom raste od sjetve, dostiže najviše vrijednosti u ljetnim mjesecima, zatim opada do kraja vegetacije, što je povezano s rastom, razvojem, formiranjem prinosa i zriobom kukuruza, kao i promjenama klimatskih uvjeta u razdoblju vegetacije. Kukuruz najviše zahtjeva i troši vode u fazi 7 do 10 dana prije metličanja do završetka oplodnje.

U prvom dijelu ove razvojne faze, formiraju se generativni organi koji su osnova prinosa. U drugom dijelu ove razvojne faze neophodna je optimalna vlažnost tla da bi se obavila potpuna oplodnja. Ako nije dostatna opskrba vodom vršni dio klipa može ostati neoplođen («krezubost»), a u težim slučajevima «krezubost» se javlja i na drugim dijelovima klipa. Osobito nepovoljne za oplodnju mogu biti kombinacije visoke temperature zraka i niske relativne vlage zraka. U takvim uvjetima djelotvorna mogu biti osvježavajuća navodnjavanja, kojima se povećava relativna vlaga zraka i time stvaraju povoljni uvjeti za oplodnju.

Poznavanjem dinamike potreba kukuruza za vodom, njegove potrebe po fazama razvoja trenutak početka navodnjavanja može se odrediti prema kritičnim fazama razvoja za vodu. Za takav način određivanja početka navodnjavanja potrebno je dobro poznavati početak navedenih faza razvoja, ali to nije siguran oslonac racionalnog navodnjavanja.

Kod primjene navodnjavanja prema kritičnim fazama sa širokozahvatnim samohodnim uređajem sa navodnjavanjem treba početi pravovremeno od faze intenzivnog porasta biljaka obavljati ih do završetka nalijevanja zrna, odnosno od polovine srpnja do kraja kolovoza. Navodnjavanje treba prilagoditi količini dodane vode i rasporedu oborina, a broj navodnjavanja je obrnuto proporcionalan količini vode dodane u jednom proходу uređaja.

Obzirom da je kukuruz visok usjev, prikladan je za navodnjavanje sa širokozahvatnim samohodnim strojevima. Navodnjavanje umjetnom kišom ima povoljniji utjecaj na mikro klimu, te ima veće učinke na prinos.

Postoje mišljenja da se kukuruz može uspješno navodnjavati primjenom navodnjavanja prema vanjskim morfološkim promjenama na biljkama, koje se očituju gubljenjem turgora i uvijanjem lišća. Takav način određivanja nije za preporuku jer je pokazatelj pogoršanog vodnog režima biljaka, koji se očituje sa zakašnjenjem. Više je autora dobilo značajnije manje prinosa kukuruza primjenom načina određivanja navodnjavanja prema vanjskim morfološkim promjenama u odnosu na onaj prema vlažnosti tla.

Ukoliko se primjenjuje navodnjavanje prema stanju vlažnosti tla, tehnički minimum za kukuruz je 60% do 65% od vrijednosti PVK, odnosno na razini lentokapilarne vlažnosti tla. Pri povećanoj vlažnosti tla, kukuruz neracionalno troši vodu na evapotranspiraciju, pri čemu formira bujnu vegetativnu masu na štetu prinosa zrna. Povećana vlažnost tla 70% i 80% od vrijednosti PVK je vrlo visoka i neuobičajena za ratarske uvjete, a njezino održavanje je povezano većim brojem navodnjavanja, što otežava i poskupljuje navodnjavanje.

Optimalnu vlažnost tla treba održavati u zoni aktivne rizosfere koja za kukuruz iznosi oko 60 cm. U literaturi se preporučuju norme navodnjavanja za umjetnu kišu 40 mm do 60 mm, u ovisnosti od vodnih, fizikalnih osobina tla. Ukoliko je duže beskišno i sušno razdoblje, optimalnu vlažnost je neophodno održavati u oraničnom sloju minimum 20 cm do 40 cm dubine.

Broj navodnjavanja ovisi o načinu navodnjavanja i opreme za navodnjavanje, a norma navodnjavanja je do 250 mm u ovisnosti od količine i rasporeda oborina.

U uvjetima navodnjavanja se postižu stabilni prinosi na visokoj razini 12 t/ha do 15 t/ha, a u široj proizvodnji na većim površinama u uvjetima navodnjavanja se postižu prinosi oko 10 t/ha. Na nekoliko sustava navodnjavanja postignuti su prinosi od 12 t/ha, tamo je eliminiran prirodni deficit vode i obavljena suvremena tehnologija proizvodnje.

### **6.1.1. NAVODNJAVANJE SJEMENSKOG KUKURUZA**

Potrebe sjemenskog kukuruza za vodom su manje od merkantilnog jer je sjemenski kukuruz manji po habitusu, ima manju vegetativnu masu. Proizvodi se od roditeljskih komponenti – linija, koje su osjetljive na nedostatak vode, pa je neophodno provoditi sustav navodnjavanja sa određenim razlikama u odnosu na merkantilni kukuruz.

Za uspješnu proizvodnju sjemena od presudnog je značaja pravovremeno i ujednačeno nicanje roditeljskih komponenti, prije svega kod hibrida gdje se roditeljske komponente siju u različito vrijeme. Kod njih treba stvoriti uvjete za pravovremeno nicanje i normalan razvoj biljaka, u cilju istovremenog svilanja i metličanja roditeljskih komponenti, da bi se uspješno obavila oplodnja. U našim uvjetima u proljetnom razdoblju česta je pojava suše u sjetvenom

sloju, što u nekim godinama može uzrokovati ozbiljne probleme i ugroziti proizvodnju sjemena.

Prvo navodnjavanje sjemenskog kukuruza je potrebno obaviti odmah poslije sjetve sa manjom normom 20 mm do 30 mm. Ovisno o okolnostima, mogu se obaviti navodnjavanja poslije sjetve svake roditeljske komponente.

S navodnjavanjima tijekom vegetacije treba početi na vrijeme, ranije nego kod merkantilnog kukuruza jer mu je viši tehnički minimum vlažnosti tla, oko 70% od vrijednosti PVK obzirom da linije imaju slabije razvijen korijenov sustav.

Sjemenski kukuruz treba obavezno navodnjavati u vrijeme čupanja metlica, jer se suša u tom razdoblju vegetacije nepovoljno odražava na oplodnju, prinose i kvalitetu. Potrebno je uskladiti čupanje metlice s navodnjavanjem.

U uvjetima navodnjavanja moguće je ukloniti svaki prirodni nedostatak vode, pa se tlo može intenzivnije koristiti u užoj plodosmjeni.

Naime, kukuruz u uvjetima navodnjavanja tolerira pomicanje rokova sjetve, što omogućuje uzgoj usjeva ozime međusezonske sjetve za zelenu stočnu hranu ili zelenu gnojidbu. Osim toga, produženje sjetve omogućava obavljanje ostalih proljetnih radova.

## 6.2. NAVODNJAVANJE ŠEĆERNE REPE

*Beta vulgaris* L.

Navodnjavanje ima posebno značajno mjesto u proizvodnom procesu šećerne repe, jer omogućuje postizanje stabilnih prinosa u promjenjivim klimatskim uvjetima. Isto tako, navodnjavanje omogućuje uspješnu i jednostavniju proizvodnju sjemena šećerne repe u jednogodišnjem uzgoju. U našim pedoklimatskim uvjetima u sušnim godinama postižu se visoki prinosi korijena šećerne repe s većim udjelom šećera, dok je u vlažnijim godinama suprotno, prinosi korijena su veći, ali je digestija niža.



To je povezano s uvjetima za fotosintezu, naoblakom, insolacijom i temperaturama. Stoga je posebno značajno navodnjavanje, odnosno pravilno izbalansirane potrebne količine vode za biljku, osobito u sušnim godinama, što rezultira većim prinosima i postotkom šećera. Šećernoj repi treba dati prednost proizvodnje u uvjetima navodnjavanja.

### Potrebe šećerne repe za vodom

Šećerna repa ima niske vrijednosti transpiracijskog koeficijenta 250 mm – 400 mm na razini kukuruza i sirka, pa se može zaključiti da je vrlo otporna na sušu, jer troši manje vode od drugih poljoprivrednih kultura za proizvodnju suhe tvari. Međutim za visoku proizvodnju

biomase, šećerna repa zahtjeva i troši ukupno velike količine vode, veće nego mnogi drugi usjevi, a te količine vode prirodni uvjeti na našim područjima ne mogu osigurati.

Šećerna repa je dvogodišnji usjev, u prvoj godini se proizvodi korijen kada nema generativne faze kao jednogodišnje biljke, te se njene potrebe za vodom razmatraju u skladu sa dinamikom porasta biomase. Obzirom da je usjev rane proljetne sjetve, kada su temperature tla i zraka niske, šećerna repa tijekom vegetacije ima male potrebe za vodom, koju troši uglavnom evaporacijom iz tla, dok je transpiracija mladih biljaka neznatna. Povećanjem lisne mase, prirastom tehnološkog korijena i povećanjem zahtjeva prema evapotranspiraciji, proporcionalno rastu potrebe za vodom, koje dostižu maksimum u drugoj polovici rujna i početkom kolovoza. Zatim dolazi do postupnog opadanja potrošnje vode do tehnološke zrelosti u skladu s promjenama temperature, intenzitetom i dužinom insolacije. S ovog aspekta razdoblje vegetacije šećerne repe u prvoj godini uvjetno se dijeli na tri ili četiri razdoblja:

1. Od sjetve do stvaranja redova, tj. do kraja lipnja ili prve dekade srpnja. Tada se stvara lisna masa i intenzivno razvija korijenov sustav. Pred kraj ovog razdoblja počinje debljanje korijena. U ovom razdoblju se utroši 25% do 30% od ukupnih potreba za vodom i u našim uvjetima traje oko devedeset dana, kada se utroši 30% do 40% od ukupnih količina vode.
2. U drugom razdoblju koje traje do kraja druge dekade kolovoza razvija se korijenov sustav, intenzivan je prirast korijena i razvoj lisne mase. Biljke intenzivno formiraju biomasu, imaju veliku asimilacijsku površinu i potrebe za vodom su velike. U ovom razdoblju šećerna repa utroši 55% do 65% od ukupnih količina vode i od izrazite je važnosti osigurati biljkama vodu.
3. Treće razdoblje traje do kraja vegetacije, odnosno tehnološke zrelosti obično i to je obično do kraja rujna, iako vađenje može biti i znatno kasnije. Dinamika vađenja šećerne repe se usklađuje sa kapacitetima prerade. U ovom razdoblju dolazi do priliva šećera u korijen i njegovo daljnje debljanje, prirast prinosa, postupno odumiranje lišća, smanjenje evapotranspiracije. Također dolazi do smanjenja potrošnje vode i ona iznosi 10% do 20% od ukupnih količina.

U praksi se navodnjavanje šećerne repe provodi prema razdobljima razvoja jer je taj način najjednostavniji, ali nije siguran pokazatelj racionalnog navodnjavanja šećerne repe. Analizira se količina oborina pred vegetaciju i uz poznavanje dinamike potreba za vodom, određuje se vrijeme navodnjavanja šećerne repe. Osnovno pitanje u praksi navodnjavanje je određivanje vremena navodnjavanja, odnosno primjena racionalnog navodnjavanja, s punim uvažavanjem klimatskih i zemljišnih uvjeta.

Čestim navodnjavanjem, bez stvarnih potreba, voda se neracionalno troši, što dovodi do prekomjernog vlaženja tla i do neželjenih posljedica. Podjednako je štetno preobilno kao i nedovoljno navodnjavanje. Stoga određivanju vremena navodnjavanja šećerne repe treba posvetiti pažnju, posebno u promjenjivim klimatskim prilikama, gdje su velika previranja oborina, po količini kao i po rasporedu.

Na velikim površinama mogu se koristiti širokozahvatni samohodni uređaji. Navodnjavanjem je potrebno navlažiti sloj tla od 20 cm do 30 cm, a na lakšem tlu od 50 cm do 60 cm. Obrok navodnjavanja bi trebao biti minimalno 30 mm. Ukoliko se često navodnjava plići sloj tla,

intenzivnije se razvija lisna masa, a tehnološki korijen zaostaje u porastu. Treba imati na umu da u srpnju i kolovozu šećerna repa troši u prosjeku 5 mm vode dnevno, tako da navodnjavanje treba uskladiti s količinom i rasporedom oborina, kako bi se nadoknadio prirodni nedostatak vode.

Trenutak navodnjavanja je najpouzdanije određivati na temelju vlažnosti tla. Prema literaturnim podacima je to na razini lentokapilarne vlažnosti, čija je vrijednost na černozemu i sličnim tlima srednje lakog i srednje teškog sastava oko 60% do 65% od vrijednosti PVK.

Navodnjavanjem se postižu visoki prinosi i bolje se realiziraju genetski potencijali, bolje se koristi primijenjena agrotehnika, kao i prirodni uvjeti. Prema višegodišnjim istraživanjima učinka navodnjavanja na prinos šećerne repe, utvrđeno je prosječno povećanje od 5% do 98%.

Navodnjavanje ima učinak na sadržaj šećera u korijenu, ali treba naglasiti da udio šećera u korijenu ne ovisi samo o opskrbljenosti biljaka vodom, odnosno navodnjavanju, nego i o drugim čimbenicima koji izravno ili neizravno utječu na fotosintezu i nakupljanje šećera. U našim uvjetima navodnjavanjem se smanjuje sadržaj šećera ukoliko se javi kišno razdoblje poslije posljednjeg navodnjavanja, odnosno u trećem razdoblju vegetacije. Tada dinamika porasta korijena ne prati stvaranje i priliv šećera proporcionalnom brzinom. Bez obzira što je manji postotak šećera, njegov ukupan prinos po hektaru je znatno veći, jer je i prinos korijena u navodnjavanju veći nego u uvjetima suhog ratarenja.

### 6.3. NAVODNJAVANJE SUNCOKRETA

*Helianthus annuus L.*

Suncokretu se daje prednost uzgoja u aridnim dijelovima, zbog skromnih potreba za vodom, razvijenog korijenovog sustava i dobrog iskorištavanja vode iz rezervi i dubljih slojeva tla. Posebno je osjetljiva na bolesti koje mu u vlažnim godinama znatno umanjuju prinos, ali u sušnim godinama pozitivno reagira na navodnjavanje koje mu može udvostručiti prinose. Kao usjev druge sjetve za zrno ili postrne za zelenu masu, uzgaja se u uvjetima navodnjavanja.



#### Potrebe suncokreta za vodom

Podaci iz literature govore da potrebe suncokreta za vodom ovise o pedoklimatskim uvjetima. Nedostatak vode, u fazi butonizacije do završetka oplodnje ostavlja najveće posljedice na smanjenje prinosa, jer su tada potrebe za vodom najveće, jer je i prirast suhe tvari također najveći. Ukoliko je suša u razdoblju cvatnje i formiranja zrna, pod utjecajem suhih vjetrova i visokih temperatura, znatan dio cvjetova u sredini glava ostaje neoplođen, a krežubost se javlja i na ostalim dijelovima glave. Također, nedostatak vode djeluje na smanjenje sadržaja ulja u zrnu suncokreta.

Potencijalna evapotranspiracija varira od 410 mm do 490 mm, što je normalno, obzirom na promjenjive klimatske uvjete u pojedinim godinama. Suncokret dobro koristi rezerve vode u tlu akumulirane u predvegetacijskom zimskom razdoblju. Sposoban je iz sloja tla do 2 m dubine iskoristiti preko 200 mm vode, odnosno 50% od potencijalne evapotranspiracije, naravno ukoliko je ima na raspolaganju.

Ukoliko se trenutak navodnjavanja određuje prema kritičnim fazama, prvo treba analizirati zimske oborine odnosno predvegetacijske rezerve vode u tlu i oborine u vegetaciji. Ako su rezerve oskudne i sušna je godina, tada bi navodnjavanje trebalo obaviti u fazama butonizacije i cvatnje. Navodnjava se jedan do dva puta s normom kojom se navlaži sloj tla do 60 cm. S navodnjavanjem treba završiti u fazi cvatnje, jer kasnija navodnjavanja pogoduju intenzivnom oboljenju biljaka.

Navodnjavanje umjetnom kišom mijenja mikro klimu, povećava relativnu vlagu zraka, što uzrokuje i intenzivniju pojavu bolesti.

Ako se trenutak navodnjavanja određuje prema vlažnosti tla, tehnički minimum za suncokret je 60% od vrijednosti PVK.

Sadržaj ulja u sjemenu suncokreta također ovisi o vremenskim uvjetima, odnosno intenzitetu pojave gljivičnih oboljenja i o genetskim osobinama hibrida. Najniži postotak ulja ostvaruje se u kišnim godinama, a razlog tomu je intenzivna pojava gljivičnih oboljenja, osobito u razdoblju sazrijevanja suncokreta.

## 6.4. NAVODNJAVANJE LUCERNE

*Medicago sativa* L.

Navodnjavanje lucerne je značajno iz više razloga jer se uzgaja na ograničenim površinama, koje su vezane za stočne farme ili za prerađivačke kapacitete, tako da variranje prinosa mora biti svedeno na minimum. Prinosi moraju biti na višoj i stabilnoj razini, ne samo zbog ishrane stočnog fonda ili kontinuiranog rada prerađivačkih kapaciteta, već da se postižu i visoki ekonomski rezultati uložene investicije u izgradnju sustava za navodnjavanje.



Za visoku proizvodnju biomase lucerka zahtjeva i troši velike količine vode, koja nije podmirena iz prirodnih oborina u našim klimatskim uvjetima. Navodnjavanje ima poseban značaj u proizvodnji sjemena lucerke.

### Potrebe lucerne za vodom

Lucerka ima vrlo velike zahtjeve za vodom, veće nego druge biljne vrste. Transpiracijski koeficijent joj je visok 600 mm – 900 mm, obzirom da ima dugu vegetaciju i intenzivno stvara vegetativnu masu poslije svakog otkosa sve dok za to postoje uvjeti. Višegodišnja je biljka, razlikuje se od jednogodišnjih usjeva po tome što nema izražena kritična razdoblja za vodom, već je permanentno vrlo aktivna, zahtjeva stalnu optimalnu vlažnost tla, a potrošnja vode ovisi o fazi rasta i energetskim mogućnostima sredine. U uvjetima optimalne opskrbljenosti vodom postižu se visoki i stabilni prinosi.

U prvoj godini vegetacije, pri proljetnoj sjetvi, mlada lucerka troši znatno manje vode na evapotranspiraciju, što je normalno jer daje tri otkosa i postiže manje prinose. U slijedeće tri godine evapotranspiracija lucerke je veća, zbog znatno veće lisne površine, većeg broja otkosa i viših prinosa.

U pojedinim godinama razlike u ukupnom utrošku vode u uvjetima sa i bez navodnjavanja nisu velike, jer lucerka dobro koristi rezerve vode iz tla akumulirane pred vegetaciju. Ukupne potrebe za vodom u prvoj godini su 545 mm do 585 mm, dok su u narednim godinama veće 670 mm do 730 mm. Za pojedine otkose potrebe za vodom su 140 mm do 170 mm, izuzetak je peti otkos koji zahtjeva i troši manje vode 85 mm do 115 mm. Isto tako i prvi otkos u prvoj godini, poslije sjetve zahtjeva znatno više vode, oko 240 mm jer mu je vegetacijsko razdoblje znatno duže od ostalih otkosa.

Primjena navodnjavanja po otkosima je jednostavna, navodnjava se poslije košnje, čim se zelena masa ili sijeno odnesu s parcele. Na ovaj način, gubitci vode isparavanjem su veliki jer je površina nezasjenjena, bez biljnog pokrivača. Navodnjavanje se može provoditi i deset dana poslije košnje, čime se smanjuju gubici vode isparavanjem, jer je tlo prekriveno biljnim pokrivačem, čak se primjenjuje navodnjavanje u fazi butonizacije, kada usjev ima veliku lisnu masu, pri čemu je dobro korištenje vode. Osim toga od kasnijeg navodnjavanja u tlu ostaje dovoljna rezerva lakopristupačne vode za početak regeneracije narednog otkosa.

Kod primjene navodnjavanja prema otkosima neophodno je analizirati zimske predvegetacijske oborine, odnosno rezerve vode u tlu, potom pratiti količine i raspored oborina u razdoblju vegetacije. Između dvije košnje, navodnjavati bi trebalo samo minimalnim količinama 25 mm do 30 mm. Broj navodnjavanja ovisi o uvjetima uzgoja. Prvi otkos ne treba navodnjavati jer u tlu ima dovoljno vode od zimskih rezervi koje se dopunjuju oborinama u razdoblju njegove regeneracije. Međutim, u pojedinim godinama je navodnjavanje potrebno. Hoće li se provoditi navodnjavanje drugog otkosa, odluka se odnosi analizom zimske rezerve vode u tlu i vegetacijskih oborina. Treći i četvrti otkos je uvijek potrebno navodnjavati, dok je peti otkos moguće postići samo u uvjetima navodnjavanja.

## 7. NAVODNJAVANJE POVRĆA

Od ukupne proizvodnje povrća u Republici Hrvatskoj oko 3% se uzgaja u zaštićenom prostoru, što zahtijeva obvezno navodnjavanje, a 97% se proizvodi na otvorenom prostoru. Povrćarske kulture imaju povećanu potrebu za vodom tijekom vegetacije zbog specifičnosti građe listova i korijena. Većina povrćarskih kultura ima deblje, krupne listove što ima za posljedicu povećanu potrebu za vodom. Kod većine povrćarskih kultura dolazi 10 do 20 dijelova nadzemne mase na jedan dio korjenove mase.

Korijen povrćarskih kultura je slabe usisne moći i slabo razvijen. Glavna masa korijena razvija se u površinskom sloju gdje su rezerve vode nestabilne i nedostatne. Na početku vegetacije korijen se slabo razvija i nakon 40 do 50 dana najveća masa korijena nalazi se u sloju 10 cm do 20 cm gdje je održavanje povoljne vlažnosti tla nesigurno i otežano. Povrćarske kulture zahtijevaju veliku vlažnost tla i korijen je vrlo osjetljiv na prekid i promjenu u opskrbi vodom.

### 7.1. NAVODNJAVANJE KRSTAŠICA (*Brassicaceae*)

Iz porodice kupusnjača upotrebljava se oko 20 vrsta povrća, ekonomski je najvažniji kupus. Kupusnjače imaju nižu evapotranspiraciju od drugih povrtnih usjeva, jer im je lišće prekriveno tankom voštanom prevlakom i svjetlije je boje. Odlikuju se niskim tlakom staničnoga soka, slabom usisnom silom korijena koji je plitak pa zahtjeva veliku vlažnosti tla. Deficit vode u bilo kojoj fazi razvoja se odražava na umanjeње prinosa.

#### 7.1. 1. NAVODNJAVANJE KUPUSA

*Brassica oleracea* L.

Obzirom da se kupus uzgaja zbog vegetativne mase, zahtjeva povišenu vlažnost i ima umjerene zahtjeve prema toplini, ponekad je svrstavan u hidrofilne biljke. Kupus se uzgaja i iz presadnica koji je uzgojen u zatvorenom prostoru.



Navodnjavanje presadnica je obvezno gdje je neophodno održavati umjerenu, ali dovoljnu vlažnost tla. U uvjetima prevelike količine vode presadnica se izdužuje pa se loše prima prilikom presađivanja, a u sušim prostorima zaostaje u porastu. Navodnjavanje se provodi, kada se površinski sloj tla prosuši. Norma navodnjavanja je mala, a vlaži se sloj od 10 cm do 15 cm. U vrijeme ukorjenjivanja se ne navodnjava kako bi biljke razvile jači korijenov sustav koji bi mogao koristiti manje rezerve vode u tlu, a to omogućuje bolje primanje poslije presađivanja jer se tada biljke često susreću s nedostatkom vode u tlu.

Potrebe presadnica za vodom su različite i variraju u širokom rasponu od 80 mm do 160 mm ovisno od uvjeta i načina proizvodnje. Sukladno potrebama za vodom i uvjetima proizvodnje varira norma i broj navodnjavanja.

Nakon presađivanja kupus zahtjeva 380 mm do 500 mm vode ovisno o klimatskim prilikama. Prvo se navodnjavanje obavlja prilikom presađivanja s obrokom od 15 mm do 30 mm ovisno o vlažnosti tla prije navodnjavanja. Obavezno je jer stvara prisniji kontakt korijena i tla što omogućuje bolje primanje presadnica.

Drugo navodnjavanje je poslije tri do pet dana kada se vrši popunjavanje praznih mjesta, s obrokom 20 mm do 30 mm. Kada se presadnica primi slijedećih deset do petnaest dana se ne navodnjava, radi što boljeg ukorjenjivanja biljaka.

Kod ranih sorti ne navodnjava se petnaest i više dana jer je presađivanje rano u proljeće. Kod kasnih sorti ne navodnjava se oko deset dana jer je presađivanje početkom lipnja kada su temperature vrlo visoke.

Ako se navodnjavanja u razdoblju vegetacije provodi prema turnusima, tada se dužina turnusa određuje u svakom slučaju posebno jer ovisi o sorti, klimatskim prilikama i tlu. Kod ranih sorti u početku turnusi su osam do petnaest dana, a kasnije u fazama intenzivnog porasta i formiranja glavica pet do devet dana, a poslije je turnus opet duži osam do petnaest dana.

Ako se primjenjuje navodnjavanje prema stanju vlažnosti tla, tehnički minimum je 80% od vrijednosti PVK. Niža vlažnost usporava formiranje glavica, koje ostaju sitne i meke. Kupus je posebno osjetljiv na promjenjiv tijek vlažnosti tla posebno u fazi formiranja glavica i tehnološkog dozrijevanja. Ako je tlo suho, a zatim se obilno navlaži dolazi do pucanja glavica, koje su lošije kvalitete i gube tržišnu vrijednost.

Norma navodnjavanja i broj navodnjavanja ovise o uvjetima godine, osobito količine i rasporeda oborina. Kreće se od tri do osam navodnjavanja.

## 7.2. NAVODNJAVANJE POMOĆNICA (*Solanace*)

### 7.2. 1. NAVODNJAVANJE RAJČICE

*Solanum lycopersicum* L.

Rajčica ima dobar korjenov sustav u tlima dobrih fizikalnih svojstava i povoljne vlažnosti, koja mu omogućuje pun razvoj. Najveće količine vode troši iz aktivne rizosfera 50 cm do 70 cm. Usporava rast kada se utroši 60% pristupačne vode iz tog sloja. Iako razvijen, korijen je slabe usisne moći pa zahtjeva povećanu vlažnost tla. Vodni stres najviše umanjuje prinose u fazama primanja presadnica, cvatnji i porastu plodova. Ukupne potrebe za vodom poslije presađivanja su 400 mm do 600 mm.



Rajčica se uzgaja iz presadnica, posebno je osjetljiva na obilnu vlažnost tla jer se dobivaju izdužene i nježne stabljike. Ima skromnije zahtjeve za vodom u odnosu na proizvodnu presadnica drugih vrsta povrća.

Prvo navodnjavanje se obavlja zajedno s presađivanjem, drugo nakon tri do pet dana s popunjavanjem praznih mjesta. Navodnjavanjem se dodaje do 30 mm ovisno o vlažnosti tla pred navodnjavanje. Nakon primanja presadnica ne navodnjava se deset do petnaest dana, radi što boljeg ukorjenjivanja biljaka.

Navodnjavanje tijekom vegetacije obavlja se po turnusima. Do pojave prvih plodova turnus je osam do dvanaest dana, a kasnije svakih pet do deset dana. Kod sorti s višekratnom berbom u razdoblju berbi plodova navodnjavanje se obavlja po potrebi poslije svake berbe. Tehnički minimum vlažnosti tla je do pojave prvih plodova 70% PVK, a kasnije 80% PVK.

U fazi formiranja cvjetnih zametaka nakon presađivanja do pojave prvih plodova poželjna je niža vlažnost tla, da bi se formirao što veći broj cvjetova i plodova, a zatim povećana vlažnost tla treba osigurati visok prinos.

U tehnološkom dozrijevanju preobilna vlaga uzrokuje pucanje plodva, što im pogoršava kvalitetu i smanjuje tržišnu vrijednost.

Norma navodnjavanja za naše uvjete iznosi 250 mm do 300 mm, a broj navodnjavanja ovisi o količini i rasporedu oborina.

## 7.2. 2. NAVODNJEVANJE PAPIRIKE

### *Capsicum annuum* L.

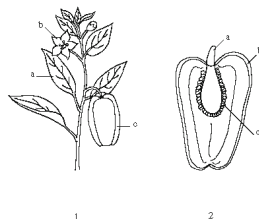
Paprika ima plitak korjenov sustav, glavni korijen može narasti do 1,5 m u dubinu kod izravne sjetve. Obzirom da prevladava proizvodnja iz presadnica razvija se lateralni korjenov sustav 30 cm do 50 cm dubine u fazama punog rasta biljaka.

Paprika je osjetljiva na nedostatak vode u tlu tijekom cijele vegetacije. Na nedostatak vode paprika je posebno osjetljiva u fazi cvatnje i sazrijevanja ploda. Isto tako, osjetljiva je i na preveliku količinu vode i slabu aeraciju tla, kada biljke žute, a u težim slučajevima dolazi do opadanja listova i cvjetova.

Ukupne potrebe za vodom variraju u širokom rasponu od 600 mm do 1250 mm. Navodnjavanje paprike počinje s proizvodnjom presadnica. Presadnice se proizvode u zaštićenom prostoru, rane sorte u toplim lejama ili drugom zaštićenom prostoru s umjetnim grijanjem, a kasne sorte u zaštićenom prostoru, ali bez grijanja. Načinu proizvodnje se prilagođava i način navodnjavanja, ali treba naglasiti da presadnice paprike ne podnose visoku vlažnost tla.

Poslije presađivanja obavlja se prvo navodnjavanje, drugo navodnjavanje tri do pet dana kasnije s popunjavanjem praznih mjesta. Nakon svake berbe provodi se navodnjavanje prema potrebi.

Ako se trenutak navodnjavanja određuje prema vlažnosti tla, sa navodnjavanjem treba početi kod vlažnosti tla 80% od vrijednosti PVK. Obroci navodnjavanja su mali, vlaži se sloj do 30



cm dubine, ali je broj navodnjavanja i do dvanaest, što ovisi o klimatskim prilikama i kapacitetu tla za lakopristupačnu vodu. Norma navodnjavanja može biti i preko 300 mm.

### 7.3. NAVODNJAVANJE LISNATOG POVRĆA

#### 7.3.1. NAVODNJAVANJE SALATE

*Lactuca sativa* L.



Salatu sijemo kao ozimi međuusjev u jesen ili kao predusjev nekom glavnom usjevu. Ima kratku vegetaciju čime osigurava uvjet za više ubiranja godišnje, a može se proizvesti iz sjemena ili presadnica. Sjeme se sije vrlo plitko pa mu treba pomoć pri klijanju i nicanju. Navodnjava se prema potrebi manjim normama do 10 mm. Ako se proizvodi iz presadnica, nakon presađivanja se obavezno provodi navodnjavanje manjom normom kako bi se biljka bolje primila.

Tijekom vegetacije se provode navodnjavanja prema potrebi s tim da je potrebno održavati vlažnost tla 80% do 90% od vrijednosti PVK. Glavičaste sorte salate su posebno osjetljive na nedostatka vode u fazi formiranja glavica, isto tako i previsoka vlažnost tla može biti uzrok pojave otvorenih glavica koje su slabije kvalitete. Posebnu pažnju treba posvetiti navodnjavanju u fazi tehnološkog dozrijevanja.

#### 7.3.2. NAVODNJAVANJE ŠPINATA

*Spinacia oleracea* L.

Špinat ima različite potrebe za navodnjavanjem ovisno o sezoni u kojoj se uzgaja. Sjetva se obavlja od kasnog ljeta pa sve do ranog proljeća. Ljetna sjetva za jesensku ili zimsku potrošnju zahtijeva obavezno navodnjavanje kako bi se osiguralo nicanje i razvoj biljaka do pojave jesenskih kiša i hladnijih dana. U jesenskoj sjetvi špinat se navodnjava po potrebi.



Kod proljetne sjetve navodnjavanje se primjenjuje u tehnološkom dozrijevanju plodova jer treba imati u vidu da špinati ima plitak korijenov sustav i nedostatak vode pospešuje generativni razvoj „rast u stablo“ čime lišće gubi kvalitetu.

## 7.4. NAVODNJAVANJE LUKOVICA (*Liliaceae*)

### 7.4.1. NAVODNJAVANJE CRVENOG LUKA

*Allium cepa* L.

Ukupne potrebe za vodom variraju od 450 mm do 1 800 mm ovisno o klimatskim uvjetima, tlu i načinu navodnjavanja. Kritični period za vodu je u prvim fazama porasta i formiranja lukovica, kada suša može značajno umanjiti prinose. Navodnjavanje u našim uvjetima ovisi o namjeni i načinu proizvodnje. Luk uzgajan za potrošnju u zelenom stanju zahtjeva stalnu visoku vlažnost tla iznad 80 % do 90% od vrijednosti PVK.



Stabilna proizvodnja luka ostvaruje se primjenom navodnjavanja. Na lakšim tlima po potrebi može se provesti i veći broj navodnjavanja. Navodnjavanje se provodi u fazi rasta i formiranja lukovica.

Kod proizvodnje luka iz sjemena navodnjavanje je obavezno i izvodi se intenzivno, od početka sjetve do početka tehnološkog dozrijevanja lukovica. Primjenjuje se navodnjavanje po turnusima svakih pet do dvanaest dana ovisno o evapotranspiracijskim zahtjevima okoline i tipu tla. Turnusi su kraći na lakšim, pjeskovitim tlima, nego na težim glinovitim tlima.

Navodnjavanje se završava mjesec dana prije vađenja, odnosno navodnjavanje se ne provodi u fazi tehnološkog dozrijevanja lukovica. Ta činjenica je posebno važna za lukovice namijenjene za zimsku potrošnju jer u suprotnom ne dozrijevaju potpuno i loše se čuvaju.

### 7.4.2. NAVODNJAVANJE BIJELOG LUKA

*Allium sativum* L.

Bijeli luk je od posebnog značaja zbog višestruke primjene. Uzgajaju se jesenske i proljetne sorte bijelog luka. Luk se razmnožava vegetativno, ima slične zahtjeve za vodom kao i crveni luk. U pojedinim godinama, kada je zima oskudna oborinama, a proljeće sušno, navodnjavanje može udvostručiti prinose bijelog luka. U našim uvjetima navodnjavanje u jesen se ne provodi. Prema potrebi provodi se jedno do dva navodnjavanja u proljetnom razdoblju u fazi rasta i formiranja lukovica. U fazi tehnološkog dozrijevanja navodnjavanje se ne obavlja.



Kod proljetnog bijelog luka isto tako u fazi porasta i formiranja lukovica obavlja se jedno do dva navodnjavanja, a u izrazito sušnim godinama do tri. Kada se bijeli luk proizvodi za potrošnju u zelenom stanju, tada se provode česta navodnjavanja sa malim obrocima, jer je potrebno održavati visoka vlažnost tla iznad 80% do 90% od vrijednosti od vrijednosti PVK u sloju 20 cm do 30 cm dubine.

## 8. NAVODNJAVANJE U ZAŠTIĆENIM PROSTORIMA

U zaštićenim prostorima (plasticima, staklenici i tuneli) nema priliva vode putem oborina te je svu potrebnu količinu vode za rast i razvoj biljke potrebno dodati na umjetan način - navodnjavanjem. Osim toga, potrebe za vodom su povećane jer kulture imaju intenzivan rast, relativno veće prinose i relativno plitak korijenov sustav. Sve navedeno ukazuje na veliku važnost i potrebu navodnjavanja u zaštićenim - kontroliranim uvjetima uzgoja.

Jedan od uvjeta za uspješno funkcioniranje navodnjavanja u zaštićenom prostoru je uređeno tlo, odnosno uređen sustav odvodnje. Dakle, zbog stalnog navodnjavanja u plasticima i staklenicama vrlo je važno urediti drenažni sustav posebno na slabo propusnim tlima.

U zaštićenim prostorima neophodno je navodnjavanjem održati optimalnu vlažnost tla i zraka što je preduvjet za normalan rast i razvoj biljaka. Pri nedovoljnoj relativnoj vlazi zraka u uvjetima visokih temperatura u zaštićenom prostoru listovi biljaka se zagrijavaju, asimilacija opada, intenzitet disanja raste, što smanjuje prinose. Biljne vrste u staklenicama i plasticima imaju povećane potrebe za vodom jer imaju intenzivan rast, stvaraju velike prinose, a kod većine je korijenov sustav u relativno plitkom sloju sa slabim usisnim silama.

Osobine dobrog sustava za navodnjavanje u zaštićenom prostoru bile bi:

- ❖ Niski intenzitet navodnjavanja (ispod 5 mm/h vodenog taloga);
- ❖ Lokalno navodnjavanje s mogućnošću određivanja veličine zone vlaženja (površinski i prostorno);
- ❖ Određena veličina kapi i oblik mlaza (s mogućnošću promjene količine vode);
- ❖ Mobilnost i prilagodljivost (mogućnost premještanja i prilagođavanja obliku i veličini prostora za navodnjavanje);
- ❖ Mogućnost izvođenja fertigacije.

Površinsko navodnjavanje izvodi se pomoću mreže cijevi iz vodozahvata, kroz uređaj za filtriranje s regulatorom tlaka i protoka i uređajem za prihranjivanje.

Podpovršinsko i površinsko navodnjavanje okapajućim trakama koristi se ovisno o kulturi koja se uzgaja. Razvodna linija glavnog voda i distributivne linije najčešće su od plastičnih polietilenskih (PE) cijevi.

### Sustav navodnjavanja „kap po kap“

Navodnjavanje sustavima kap po kap su u potpunosti automatizirani sustavi koji vrlo racionalno koriste vodu, a ujedno stvaraju i optimalne uvjete optimalne vlažnosti tla (vrijednost oko poljskog vodnog kapaciteta). Osim navedenog u zatvorenom sustavu cijevi nije potreban veliki pritisak, tako da je racionalno korištenje energije.

Kontrolni uređaj u sustavu za navodnjavanje služi za praćenje i kontrolu tlaka i protoka vode, kao i vlažnost tla. Tlak vode se mjeri pomoću manometra i kontrolira se u svim vitalnim točkama sustava od crpke do krajnjeg lateralnog voda.

Uređaji za mjerenje protoka često su povezani u sustav automatske regulacije, tako da se nakon protoka određene količine vode automatski isključuje navodnjavanje. Vlažnost tla najčešće se mjeri tenziometrima.

Potrebe za vodom ovise o biljnoj vrsti, sorti, fazama razvoja, načinu, namjeni i vremenu uzgoja. Najveće potrebe za vodom su u početnim fazama rasta i fazi formiranja plodova kada treba održavati visoku vlažnost, iznad 80%.

Plastične cijevi u kojima su na određenim razmacima smješteni kapljači mogu biti izvedeni kao:

- ❖ Kapljajuće trake – vlaže samo jedan dio ukupne zapremnine tla, voda se dovodi točno u zonu korijena bez gubitaka, pa je iskorištenje vode čak 95% (Queen gil i T – tape);
- ❖ Tvrde cijevi s kapaljkama - postavljaju se na površinu tla ili su malo izdignute.
- ❖ Ubodni kapljači koriste se za navodnjavanje biljaka koje se nalaze u posudama, kontejnerima ili vrećama sa supstratom. U sebi sadrže membranu koja osigurava ujednačen protok na kapljačima pri promjeni tlaka.

Navodnjavanje mikro rasprskivačima može biti izvedeno kao:

- ❖ Magla – proizvodi se oblak finih kapi i stvara mikroklima visoke vlažnosti. Rasprskivač radi na relativno visokom tlaku do 4 bara, ima vrlo malu brizgaljku. Noviji tipovi postižu traženi učinak na već 2 bara. Statični su i zbog vrlo malih kapi zona vlaženja je nepravilna, a proizvodnja magle podrazumijeva veliku potrošnju vode. U zatvorenim prostorima se primjenjuje i za snižavanje temperature i povećanje relativne vlažnosti zraka.
- ❖ Mlaz – mlaz dometa 1 m do 4 m. Statični su, imaju veću brizgaljku, rade na nižem radnom tlaku i ne stvaraju maglu. Mogu proizvoditi različite vrste zona: trakaste, sektorske i kružne.
- ❖ S mikro rasprskivačima – mlaz 4 m do 10 m. Mikro rasprskivači posjeduju najčešće rotacijski rasprskivač umjesto statičnog i u odnosu na prethodna dva tipa imaju veći domet mlaza, manji intenzitet kišenja, poboljšani učinak distribucije vode. Rotiranje mlaza se provodi u horizontalnoj ravnini s dometom od 4 m do 6 m za manje i od 7 m do 10 m za veće modele.

Postoje izvedbe s:

- Odbojnom pločicom;
- Kockastim rotorom;
- Okruglim rotorom.

## **Fertigacija**

Fertigacija je navodnjavanje biljaka vodom koja je obogaćena hranjivima koja su u niskim koncentracijama. Parametri koji određuju potrebu za hranjivima su: potreba za hranjivima, prisutnost nitrata u tlu, EC vode, sadržaj fosfora (P) i kalija (K) u lišću.

Temeljni princip fertigacije - voda za navodnjavanje se miješa s hranjivim elementima iz spremnika i koristi za navodnjavanje. Prednosti ovakvog načina uzgoja su osjetne u značajnim

financijskim uštedama jer istovremeno obavljamo navodnjavanje i gnojidbu, uz točno doziranje biljkama potrebne količine vode i hranjiva.

Dijelovi sustava za izvođenje fertigacije:

- ❖ Ventil na glavnom vodu;
- ❖ Ventil na pomoćnom vodu;
- ❖ Manometar – nalazi se ispred injektora i na njemu se očitava ulazni tlak;
- ❖ Spremnik s otopinom hranjiva – nalazi se ispod injektora;
- ❖ Filter – uronjen u spremnik s hranjivom otopinom;
- ❖ Membranska crpka – služi za ubrizgavanje hranjiva u sustav za navodnjavanje, a pogon dobiva od tlaka vode.

Najveći problem kod fertigacije je začepljenje cijevi i kapaljki do kojeg dolazi zbog niskog tlaka i malih izlaznih otvora. Začepljenje može biti posljedica:

- ❖ Fizičkog začepljenja – nečistoće koje se uklanjaju korištenjem filtra;
- ❖ Začepljenje uslijed taloženja zbog kemijskih reakcija – uporaba vode visokog pH ili visoke razine netopivih soli koje reagiraju s hranjivima. Problem se rješava korištenjem gnojiva koji su potpuno topivi i smanjuju pH vode.

### **Doziranje vode pri navodnjavanju u zaštićenim prostorima**

Da bi se doziranje vode pri navodnjavanju izvelo pravilno, potrebno je poznavati tlo ili supstrat i njegove osobine. Kada biljke sadimo u tlo, tada je potrebno provesti pedološka i hidropedološka istraživanja, pri čemu treba odrediti građu pedološkog profila, determinirati tlo, u laboratoriju odrediti mehanički sastav, gustoću tla, vodne konstante (kapacitet tla za vodu, lentokapilarne vlažnost, točku venuća), i trenutnu vlažnost tla. Infiltracijska sposobnost tla se određuje na terenu. Također, za pravilno planiranje navodnjavanja potrebno je poznavati i potrebe biljke za vodom, koja ustvari odgovara vrijednosti evapotranspiracije.

### **ODREĐIVANJE OBROKA NAVODNJAVANJA**

Obrok navodnjavanja predstavlja količinu vode koja se dodaje jednim navodnjavanjem. Pravilno određen obrok osigurava racionalnu potrošnju vode, te visoke, stabilne i kvalitetne prinose.

Obrok navodnjavanja ovisit će o:

- dubini supstrata;
- osobinama supstrata;
- trenutnoj vlažnosti supstrata. Supstrat je poželjno vlažiti do dubine u kojoj se razvija glavna masa korijenovog sustava, što ovisi o kulturi i fazi razvoja biljke.

### **ODREĐIVANJE POČETKA NAVODNJAVANJA**

Načini određivanja:

- Na temelju vlažnosti supstrata – najraširenija metoda. Kada se vlažnost supstrata spusti do donje granice optimalne vlažnosti za uzgajanu kulturu, dodaje se odgovarajuća količina vode navodnjavanjem;
- Prema određenom turnusu navodnjavanja;
- Metodom obračuna svakodnevne evapotranspiracije.

### Metode određivanja vlažnosti u supstratu

Za praćenje vlažnosti mogu se koristiti različite metode. Najčešće se primjenjuju terenske metode, gdje se mjerenje vlažnosti tla obavlja instrumentima.

Instrumenti za izravno mjerenje:

- Tenziometri – uređaji koji registriraju sadržaj vlage u intervalu od kapaciteta tla za vodu po do jednog bara, dakle, supstrat je stalno pri sadržaju vlage oko poljskog kapaciteta tla za vodu ili nešto malo ispod toga;
- Neutronskim i gama mjerjačima;
- TDR mjerjači – Time domain reflectometry.

Instrumenti za neizravno mjerenje:

- Elektrokemijska metoda – metodom se mjeri elektrovodljivost tla, koja ovisi o stanju njegove vlažnosti. U praksi se najčešće koristi konduktometar s pripadajućim gipsanim ili najlonskim blokovima.

### Određivanje početka navodnjavanje prema turnusu

Neophodno je imati podatke o obroku navodnjavanja, dnevni utrošak vode koji odgovara evapotranspiraciji kultura podijeljeno s brojem dana u mjesecu. Dijeljenjem obroka navodnjavanja s dnevnim utroškom vode dobije se razdoblje u danima koje mora proći između dvaju navodnjavanja.

Određivanje trenutka početka navodnjavanja obračunom svakodnevne evapotranspiracije. Metoda se temelji na poznavanju priljeva i utroška vode kroz vegetacijsko razdoblje. Poznaajući količinu vode koja pritječe u tlo, a istovremeno i potrošnju evapotranspiracijom, moguće je u bilo kojem razdoblju tijekom vegetacije odrediti sadržaj vode u tlu. Sumiranjem svakodnevnog utroška vode na evapotranspiraciju, moguće je jednostavno utvrditi kada će se postojeća zaliha vode u tlu potrošiti i kada treba započeti s idućim navodnjavanjem.

## 9. KAKVOĆA VODE ZA NAVODNJAVANJE

Za navodnjavanje vrlo je važno poznavati kakvoću vode za navodnjavanje.

Voda koja se koristi za navodnjavanje mora biti odgovarajućih kemijskih, bioloških i fizikalnih svojstava. Izuzetno je važno da u vodi za navodnjavanje nema nikakvih mehaničkih čestica koje bi mogle dovesti začepljenja kapaljki (hidrauličke naprave koje raspodjeljuju vodu u obliku kapi). Zbog toga je ugradnja filtra u sustav dodavanja vode od izuzetne važnosti za funkcioniranje sustav navodnjavanja kao po kap.

Pogodnost vode za navodnjavanje definirana je:

- Fizikalnim značajkama – temperatura i količina krutih čestica. Navodnjavanje pretoplom ili prehladnom vodom može izazvati temperaturne šokove biljke. Površinske vode su toplije od podzemnih. Pri korištenju podzemnih voda za navodnjavanje poželjno bi bilo izgraditi bazen za temperiranje vode. U vodi ne bi smjelo biti krutih čestica koje bi mogle oštetiti dijelove sustava za navodnjavanje. oštećenja najčešće nastaju u crpki i dijelovima za raspodjelu vode, a kod lokaliziranog navodnjavanja mogu se začeptiti kapaljke;
- Biološkim značajkama – važno je da voda ne sadrži uzročnike bolesti čovjeka;
- Kemijskim značajkama – kemijska analiza vode je nužna kako bi se mogli previdjeti problemi, odnosno spriječiti neželjene posljedice. U vodi koja se koristi za navodnjavanje nalazi se određena količina otopljenih soli, a vrsta soli i koncentracija određuju kakvoću vode i njezinu pogodnost za navodnjavanje. U Hrvatskoj agronomskoj praksi se koristi FAO klasifikacija iz 1985. Kakvoća vode se ocjenjuje na osnovi mogućih problema

Za navodnjavanje se može koristiti voda iz prirodnih ili umjetnih jezera, vodotoka ili bunara. Najkvalitetnija voda za navodnjavanje bila bi je kišnica ili bilo koja meka voda. Međutim u intenzivnom uzgoju na velikim površinama količine kišnice nisu dostatne pa se koristi voda iz otvorenih vodotoka ili kopanih bunara. Prije uporabe bilo koje vode mora se provesti kemijska analiza vode i ona se ponavlja i tijekom navodnjavanja u vegetaciji.

Bez obzira na podrijetlo, voda može sadržavati manje ili više otopljenih soli. Prilikom navodnjavanja soli se unose u tlo i u određenim uvjetima, tijekom vremena mogu prouzročiti ozbiljne probleme (zaslanjivanje). U uvjetima vrlo intenzivne proizvodnje u zaštićenim prostorima, gdje se ukupna količina vode potrebna biljci daje navodnjavanjem moguće je puno brže nakupljanje štetnih koncentracija soli u rizosferi. Nadalje, nakupljanje soli može nastati i uslijed preobilne gnojide mineralnim i organskim gnojivima, ali i u uvjetima visoke razine podzemne vode koja sadrži veću količinu soli.

Temperatura vode za navodnjavanje treba iznositi 20 °C do 25 °C, te povoljnih kemijskih karakteristika koje dozvoljavaju njenu uporabu. Najpogodniji su jutarnji sati kada biljka bolje iskorištava vodu, a isparavanje je slabije i postupno. Kod nepovoljne kvalitete vode, voda s povećanim sadržajem soli, potrebno je svake dvije do tri godine ispirati tlo, a ukoliko je uzgoj u supstratima, potrebno ih je mijenjati svake godine.

Opasnost od zaslanjivanja ovisi o koncentraciji soli u vodi za navodnjavanje. Stupanj zaslanjenosti mjeri se kao elektroprovodljivost vode, a izražava se u dS/m. Problem zaslanjivanja nastaje kada se koncentracija soli u tlu poveća do granice koja izaziva otežano primanje vode od biljke. Povećanjem zaslanjenosti tla povećava se osmotski tlak otopine tla, a smanjuje se za biljku količina pristupačne vode u tlu. Navedeno utječe na prinos koji opada proporcionalno s porastom zaslanjenosti vode. Mjera koja se najčešće koristi za sprječavanje i otklanjanje zaslanjenosti je ispiranje soli. Pod time podrazumijevamo dodavanje veće količine vode od proračunatog obroka, kako bi se isprala sol u dublje slojeve tla. Djelotvorno rješavanje suvišnih soli, moguće je uz dobru dreniranost.

Smanjenje infiltracijske sposobnosti i propusnosti tla za vodu posljedica je uporabe vode s prekomjernim sadržajem natrija. Vode s visokim sadržajem natrija i niskim sadržajem ukupnih soli imaju jako izraženu sklonost otapanja kalcija iz površine tla, zbog čega dolazi do disperzije glinenih minerala i začepljenja pora tla, odnosno do pogoršanja strukture tla. Pogoršanjem strukture umanjuje se vodopropusnost tla.

Problem toksičnosti nastaje pod utjecajem pojedinih iona koje je biljka primila i akumulirala, najčešće u listu do koncentracije iona koja izaziva oštećenja. Najčešće toksični ioni su ioni klora, natrija i bora. Problem se rješava kao kod zaslanjenosti, dakle ispiranjem.

## 10. LITERATURA:

- Mađar Stjepan (1987.): Odvodnja i navodnjavanje u poljoprivredi; Zadrugar; Sarajevo, 1987.
- Tomić Frane (1988.): Navodnjavanje; Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb 1988.
- Romić Davor, Marušić Josip (2006.): Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u republici Hrvatskoj (NAPNAV); Građevni godišnjak 05/2006.; Zagreb
- Tomić Frane, Romić Davor, Mađar Stjepan (1995.): Oprema za lokalizirano natapanje. Priručnik za hidrotehničke melioracije. Knjiga 4. Sustavi, građevine i oprema za natapanje. Građevinski fakultet Rijeka 1995.
- Tomić Frane, Romić Davor, Mađar Stjepan (1995.): oprema za natapanje kišenjem. Priručnik za hidrotehničke melioracije. Knjiga 4. Sustavi, građevine i oprema za natapanje. Građevinski fakultet Rijeka 1995.
- Romić Davor, Šošarić Jasna, Frane Tomić, Mađar Stjepan (1996.): Program „CROPWAT“- primjena u planiranju i projektiranju natapanja. Priručnik za hidrotehničke melioracije. Knjiga 5. Planiranje, projektiranje i regulacija natapnih sustava. Građevinski fakultet, Rijeka, 1996.
- Kos Zorko, Tomić Frane, Plišić Ivica (1993.): Proračun potreba za vodom. Priručnik za hidrotehničke melioracije. Knjiga 2. Potrebe za navodnjavanjem. Građevinski fakultet, Rijeka, 1993.
- Tomić Frane (1992.): Istraživački rad i podloge za projektiranje i izvođenje sustava navodnjavanja. Priručnik za hidrotehničke melioracije. Knjiga 1. Opći dio. Građevinski fakultet, Rijeka, 1992.
- Bošnjak Đuro (2003.): Navodnjavanje u bašti, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, 2003.
- Bošnjak Đuro (1999.): Navodnjavanje poljoprivrednih useva, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet 1999.

## 11. POPIS SLIKA:

- Slika 1: Prikaz građe tla
- Slika 2: Presjek profila poljoprivrednog tla
- Slika 3: Intervali optimalne vlažnosti tla za uzgoj poljoprivrednih kultura u uvjetima navodnjavanja
- Slika 4: Načini upuštanja vode u brazde
- Slika 5: Infiltriranje vode u različitim tlima kod navodnjavanja brazdama
- Slika 6: Poprečni presjek sifona - teglice
- Slika 7: Navodnjavanje prelijevanjem
- Slika 8: Navodnjavanje potapanjem
- Slika 9: Podzemno navodnjavanje otvorenim kanalima
- Slika 10: Podzemno navodnjavanje cijevnom drenažom
- Slika 11: Rasprskivač za navodnjavanje kišenjem
- Slika 12: Raspored rasprskivača na kišnim krilima
- Slika 13: Postavljanje kišnih krila kod pokretnih sistema
- Slika 14: Samohodno bočno kišno krilo
- Slika 15: Samohodna kružna prskalice tipa „BUM“
- Slika 16: Samohodni sektorski rasprskivač tipa „TIFON“
- Slika 17: Samohodni automatizirani uređaj za linijsko navodnjavanje tipa „VALMONT“
- Slika 18: Održavanje vlažnosti tla kod navodnjavanja kapanjem
- Slika 19: Glava sistema za navodnjavanje „kap po kap“
- Slika 20: Shematski prikaz sistema navodnjavanja „kap po kap“
- Slika 21: Kapljač na čokotu vinove loze
- Slika 22: Mnogo je pitanja prije navodnjavanja
- Slika 23: Shematski prikaz evapotranspiracije



[illegible]



This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

