

VISOKO GOSPODARSKO UČILIŠTE U KRIŽEVCIMA



Tloznanstvo i popravak tla (II dio)

(skripta)

Autori: *prof. dr. sc. Ivan Šimunić*
mr. sc. Andrija Špoljar

Križevci, 2007.

Kazalo

Stranica

	SISTEMATIKA TLA	5
1.	Uvod u sistematiku tla	5
1.1.	Osnovna načela sistematike tala iz 1985. godine	5
2.	Razdjel automorfnih tala	7
2.1.	Klasa nerazvijenih tala /(A)-C profila	7
2.1.1.	Kamenjar (Litosol)	8
2.1.2.	Sirozem na rastresitim stijenama (Regosol)	8
2.1.3.	Koluvijalno tlo (Deluvij ili kolouvij)	9
2.1.4.	Eolski živi pijesci (Arenosoli)	9
2.2.	Humusno akumulativna klasa (A-C profila).....	10
2.2.1.	Vapnenačko dolomitna crnica (Kalkomelanosol)	10
2.2.2.	Rendzina	11
2.2.3.	Ranker	12
2.2.4.	Černozem	13
2.2.5.	Smolnica	15
2.3.	Klasa kambičnih tala /A-(B)-C/ profila	16
2.3.1.	Eutrično smeđe tlo (Eutrični kambisol)	16
2.3.2.	Kiselo (distrično) smeđe tlo	18
2.3.3.	Crvenica (Terra rossa)	19
2.3.4.	Smeđe tlo na vapnencu i dolomitu (Kalkokambisol)	20
2.4.	Klasa eluvijalno-iluvijalnih tala (A-E-B-C profila)	21
2.4.1.	Lesivirano (Ilimerizirano) tlo	21
2.4.2.	Podzol	23
2.4.3.	Brunipodzol	24
2.5.	Klasa antropogenih tala (P-C sklopa profila).....	24
2.5.1.	Rigolano tlo (Rigosol)	25
2.5.2.	Vrtno tlo (Hortisol)	25
2.6.	Tehnogena tla (sklopa profila I, II, III)	25
2.6.1.	Tla deponija (Deposoli)	25
2.6.2.	Flotacijski materijali (Flotisoli)	25
3.	Razdjel hidromorfnih tala	26
3.1.	Klasa nerazvijenih tala /(A)-C ili (A)-G sklopa profila)	26
3.1.1.	Aluvijalno tlo (Fluvisol)	26
3.2.	Klasa pseudoglejnih tala (A-Eg-Bg-Cg sklopa profila)	26
3.2.1.	Pseudoglej	27
3.3.	Semiglejna tla (A-C-G sklopa profila)	28
3.3.1.	Semiglej	28
3.4.	Glejna tla (A-G sklopa profila)	29
3.4.1.	Pseudoglej-glej	29
3.4.2.	Ritska crnica (Humoglej)	29
3.4.3.	Močvarno glejno tlo (Euglej)	31
3.5.	Tresetna tla (T-G sklopa profila, Histosoli))	32
3.6.	Antropogena hidromorfna tla (P-G sklopa profila)	33
3.6.1.	Hidromeliorirano tlo	33
3.6.2.	Rigolano tresetno tlo	33
4.	Halomorfna tla	33
4.1.	Klasa akutno zaslanjenih tala (Asa-G ili Asa –CG sklopa profila ...	33

4.1.1.	Solončak	34
4.2.	Solonec (ujedno klasa i tip)	35
5.	Razdjel subakvalnih tala	36
	Prilog: Neke sistematske jedinice tla - slike	37
	POPRAVAK TLA	39
6.	ODABRANO POGLAVLJE IZ HIDROLOGIJE	39
6.1.	Atmosferske vode	39
6.2.	Površinske vode	40
6.3.	Podzemne vode	42
7.	ODABRANO POGLAVLJE IZ HIDROPEDOLOGIJE	43
7.1.	Voda u tlu	43
7.1.2.	Vrste vode u tlu	43
7.1.3.	Energetski odnosi vode u tlu	44
7.1.4.	Vodne (hidropedološke) konstante	44
7.1.5.	Gibanje vode u tlu	45
8.	ODVODNJA	47
8.1.	Oblici i podrijetlo suvišnih voda	47
8.1.1.	Suvišne površinske vode	47
8.1.2.	Suvišne potpovršinske vode	47
8.1.2.1.	Stagnirajuće suvišne vode	47
8.1.2.2.	Podzemne vode	48
8.2.	RJEŠAVANJE (REGULIRANJE) SUVIŠNIH VODA	48
8.2.1.	Zaštita (obrana) područja od vanjskih voda	48
8.2.1.1.	Reguliranje vodotoka	48
8.2.1.2.	Obrambeni nasipi	49
8.2.1.3.	Odušni kanali	50
8.2.1.4.	Obodni ili lateralni kanali	50
8.2.1.5.	Retencije ili akumulacije	51
8.3.	Oplav	51
8.3.1.	Gravitacijska(prirodna) oplav	51
8.3.2.	Umjetna (crpna) oplav	52
8.3.3.	Kombinirana oplav	52
8.4.	Detaljna odvodnja	
8.4.1.	Površinska detaljna odvodnja	52
8.4.1.1.	Odvodnja srednje dubokim kanalima	53
8.4.1.2.	Odvodnja random kanalima	53
8.4.1.3.	Izvođenje i održavanje površinske odvodnje	55
8.4.2.	Podzemna odvodnja – cijevna drenaža	56
8.4.2.1.	Sustavna cijevna drenaža	60
8.4.2.2.	Nesustavna (parcijalna) cijevna drenaža	65
8.4.3.	Kombinirana odvodnja	66
9.	NAVODNJAVANJE	72
9.1.	Potreba primjene navodnjavanja i određivanje norme navodnjavanja	72
9.1.1.	Norma navodnjavanja	72
9.1.2.	Potrebe uzgajnog usjeva za vodom (evapotranspiracija).....	78
9.1.3.	Bilanca vode u tlu	79
9.2.	Koristi i problemi navodnjavanja	80
9.3.	Dodavanje vode pri navodnjavanju	81
9.3.1.	Obrok navodnjavanja	81

9.3.2.	Trenutak početka navodnjavanja	82
9.3.2.1.	Određivanje početka navodnjavanja prema turnusu navodnjavanja	82
9.3.2.2.	Određivanje početka navodnjavanja prema stanju vlažnosti tla	83
9.4.	Izvor i kakvoća vode za navodnjavanje	86
9.5.	Temeljni elementi za projektiranje navodnjavanja	87
9.6.	Metode, načini i sustavi navodnjavanja	88
9.6.1.	Navodnjavanje kišenjem	89
9.6.1.1.	Klasični način navodnjavanja kišenjem	89
9.6.1.2.	Navodnjavanje samohodnim uređajima	96
9.6.2.	Lokalizirano navodnjavanje	103
	LITERATURA	107

SISTEMATIKA TLA

1. Uvod u sistematiku tala

Svako razvrstavanje tala po nekom logičnom sustavu naziva se sistematika tala (klasifikacija ili taksonomija). Općenito se klasifikacije tala dijele na prirodno-znanstvene i tehničke. Prirodno-znanstvene se zasnivaju na genezi i evoluciji tala, a tehničke se izrađuju za specifične potrebe (odvodnja i navodnjavanje, namjensko korištenje zemljišta i slično).

U početku su tla razvrstavana na osnovi stečenih iskustava – iskustvene ili empirijske klasifikacije. Tla su klasificirana najčešće po značajkama (boja, organska tvar, mehanički sastav) ili prema pogodnosti za uzgoj pojedinih kultura. Jedna od najstarijih empirijskih klasifikacija je kineska, stara 4000 godina, a Rimljani i Grci također su izrađivali iskustvene klasifikacije. U srednjem vijeku općenito nije bilo značajnijeg razvoja prirodnih znanosti, pa tako ni klasifikacije tala. Prirodno-znanstvene klasifikacije tala, koje se temelje na genetsko-evolucijskom konceptu datiraju od Dokučajeva i njegove genetske sistematike iz 1879. godine. U novije vrijeme FAO i američka klasifikacija, zapadno-europske i ruska vodeće su internacionalne klasifikacije. Po uzoru na ove taksonomije Škorić et.al., 1963. izrađuju klasifikaciju tala bivše Jugoslavije, koja je revidirana 1973. i ponovno 1985. godine. U Hrvatskoj je ova sistematika još uvijek u uporabi, a sve više se koristi i FAO/UNESCO legenda tala. U međuvremenu do prvog svjetskog rata koristila se genetska sistematika po Sibircevu i Glinki, zatim Stebutova iz 1927. i Gračaninova iz 1951. godine.

1.1. Osnovna načela sistematike tala iz 1985. godine

U sistematici iz 1985. godine tla su razvrstana u odjele (razdjeli), klase, tipove, podtipove, varijetete i forme.

Izdvojena su sljedeća načela po kojima su tla klasificirana:

1. klasifikacija je genetsko-evolucijska, a istovremeno može poslužiti za proizvodno-ekološku valorizaciju tala,
2. klasifikacija se zasniva na značajkama tala, koje su morfološki vidljive i mjerljive,
3. objedinjavanje tipova u klase zasniva se na genetsko-evolucijskom konceptu,
4. razvrstavanje tipova u niže kategorije sustava vrši se na temelju jedinstvenih kriterija zasebno za svaki tip, i
5. klasifikacija je izrađena tako da se nove spoznaje o tlima u nju mogu lako uklopiti.

Odjeli (razdjeli) su najviša kategorija klasifikacijskog sustava, a izdvojeni su na temelju načina vlaženja i sastava vode. Prema ovom kriteriju izdvojena su četiri odjela: automorfni, hidromorfni, halomorfni i subakvalni (subhidrična tla). Klase obuhvaćaju tipove tala s istom građom profila i imaju analogne razvojne stadije. Središnja kategorija klasifikacijskog sustava je tip tla kojeg karakterizira:

- jednotipska građa pedološkog profila,
- jednotipski procesi transformacije i migracije minerala i organske tvari, te
- kvalitativno slične fizikalne i kemijske značajke horizonata.

Niže kategorije od tipa (podtipovi, varijeteti i forme) izdvajane su na osnovi specifičnih značajki (pedogenetski procesi, mehanički sastav, sadržaj skeleta, matični supstrat i slično) za svaki tip posebno. S obzirom da se kod nas u posljednje vrijeme sve više u praksi koristi FAO klasifikacija, daje se kratki pregled naše sistematike tala iz 1985. s odnosom prema FAO/UNESCO legendi na razini tipa i velike grupe tala.

Klasifikacija tala iz 1985.	FAO/UNESCO legenda iz 1990. i velike grupe
1. AUTOMOREFNA TLA	
I KLASA: NERAZVIJENA TLA, (A)-C profila Tipovi: 1. Kamenjar (Litosol) 2. Sirozem na rastresitim stijenama (Regosol) 3. Eolski živi pijesci (Arenosol) 4. Koluvijalno (deluvijalno) tlo ili koluvijum	Leptosols Regosols Arenosols Regosols
II KLASA: HUMUSNO AKUMULATIVNA TLA, A-C profila Tipovi: 1. Vapnenačko-dolomitna crnica (Kalkomelanosol) 2. Rendzina 3. Humusno silikatno tlo (Ranker) 4. Černozem 5. Smolnica	Leptosols « « Chernozems Vertisols
III KLASA: KAMBIČNA TLA, A-(B)-C profila Tipovi: 1. Eutrično smeđe tlo (Eutrični kambisol) 2. Distrično (kiselo) smeđe (Distrični kambisol) 3. Smeđe na vapnencu (Kalkokambisol) 4. Crvenica (Terra rossa)	Cambisols « « «
IV KLASA: ELUVIJALNO ILUVIJALNA TLA, A-E-B-C profila Tipovi: 1. Lesivirano (ilimerizirano) tlo (Luvisol) 2. Podzol 3. Smeđe podzolasto (Brunipodzol)	Luvisols Podzols «
V KLASA: ANTROPOGENA TLA, P-C profila Tipovi: 1. Rigolano tlo (Rigosol) 2. Vrtno tlo (Hortisol)	Anthrosols «
VI KLASA: TEHNOGENA TLA; I, II, III Tipovi: 1. Tla deponija (Deposol) 2. Flotacijski materijali (Flotisol)	Anthrosols «
2. HIDROMOREFNA TLA	
I KLASA: PSEUDOGLEJNA, A-Eg-Bg-Cg profila Tip: Pseudoglej	Podzoluvisols
II KLASA: NERAZVIJENA HIDROMORFNA, (A)-I-II profila Tip: Aluvijalno (Fluvisol)	Fluvisols
III KLASA: SEMIGLEJNA, A-C-G profila Tip: Fluvijativno-livadsko (Semiglej, Humofluvisol)	Fluvisols
IV KLASA: GLEJNA, A-G profila Tipovi: 1. Pseudoglej-glej 2. Ritska crnica (Humoglej) 3. Močvarno-glejno (Euglej)	Podzoluvisols Gleysols «
V KLASA: TRESETNA (CRETNA), T-G profila Tipovi: 1. Izdignuti treset 2. Niski treset 3. Prelazni treset	Histosols « «

VI KLASA: ANTROPOGENA, P-G profila Tipovi: 1. Rigolano tresetno 2. Hidromeliorirano	Anthrosols α
3. HALOMORFNA TLA	
I KLASA: AKUTNO ZASLANJENA Asa-G ili Asa-CG profila Tip: Solončak	Solonchaks
II KLASA: SOLONECI, A-Bt, na - C profila Tip: Solonec	Solonetz
4. SUBAKVALNA (Subhidrična)	
I KLASA: NERAZVIJENA SUBAKVALNA, (A)-C ili (A)-G profila Tip: Protapedon	Gleysols
II KLASA: SUBAKVALNA TLA, A-C ili A-G profila Tipovi: 1. Gitja (Gyttja) 2. Daj (Dy) 3. Sapropel (Sapropel)	Gleysols α α
III KLASA: ANTROPOGENA Tipovi: 1. Hidromeliorirana gitja 2. Hidromeliorirani sapropel	Anthrosols α

2. Razdjel automorfni tala

Tla iz automorfnog razdjela karakterizira vlaženje isključivo oborinskim vodama, koje se kroz solum tla slobodno procjeđuju i ne zadržavaju se duže vrijeme. U ovaj razdjel izdvojeno je šest klasa: nerazvijena tla, humusno akumulativna, kambična, eluvijalno-iluvijalna, antropogena i tehnogena tla.

2.1. Klasa nerazvijenih tala /(A)-C profila/

Klasa nerazvijenih tala ima građu profila (A)-C, dakle to su tla s inicijalnim humusno akumulativnim (A) horizontom ili Ap horizontom nastalim utjecajem čovjeka (obrađa, gnojidba). U ovu su klasu izdvojena četiri tipa tla: kamenjar, eolski živi pijesci, sirozem na rastresitim matičnim supstratima i koluvijalno tlo.

Za cijelu klasu moguće je izdvojiti sljedeće značajke:

1. Kod tvorbe kamenjara na većim nadmorskim visinama dominira fizikalno trošenje stijena i erozijski procesi, te nema uvjeta za tvorbu humusno-akumulativnog horizonta.
2. Na manjim nadmorskim visinama i na rastresitim matičnim supstratima uvjeti za kemijsko trošenje i tvorbu humusno akumulativnog horizonta su povoljniji. Međutim, do izražaja dolaze erozijski procesi vodom i vjetrom, kao i utjecaj čovjeka obradom čime se usporavaju pedogenetski procesi, pa tlo ostaje na (A)-C stadiju razvoja. Na ovaj se način obrazuju sirozemi.
3. Tijek pedogenetskih procesa može biti onemogućen i eolskom erozijom gdje vjetar napuhuje pjeskoviti materijal, a na taj se način formiraju eolski živi pijesci.

4. Pedogenetski procesi mogu također biti spriječeni erozijom tla i matičnog supstrata s planinskih i brdskih područja. U podnožju padine taloži se nesortirani zemljišni materijal i obrazuje se koluvijalno tlo.

2.1.1. Kamenjar (Litosol)

Litosol je nerazvijeno tlo koje se razvija na čvrstim ili slabo rastrošenim stijenama dubine do 20 cm s prevagom skeleta. Nastaje u planinskim područjima procesima fizikalnog trošenja stijena i erozijom sitnijih kategorija čestica. Radi mladosti tla, stalne izloženosti procesima erozije i nepovoljnih klimatskih uvjeta, litosol ostaje na stadiju nerazvijenih tala.

Tlo je općenito loših fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki, slabo opskrbljeno hranivima i humusom. Proizvodna sposobnost litosola ovisi o vrsti stijene iz koje se obrazuje, te o stupnju njezine rastrošenosti. Vrsta stijene ujedno je bila i kriterij za izdvajanje nižih sistematskih jedinica od tipa (varijeteta), pa su po ovom kriteriju izdvojeni litosoli na eruptivnim stijenama i litosol na vapnencu i dolomitu.

Iako je tlo skromne plodnosti, moguće je i na kamenjaru organizirati primjerice uspješnu vinogradarsku proizvodnju (Babić u Primoštenu).

Prema FAO klasifikaciji na razini podgrupe kamenjari se interpretiraju kao «Lithic leptosols».

Mjere uređenja: pošumljavanje, vjetrozaštitni pojasevi

2.1.2. Sirozem na rastresitim stijenama (Regosol)

Regosoli su nerazvijena ili slabo razvijena tla, koja nastaju erozijskim procesima ranije stvorenih tala i inicijalnim procesima pedogeneze. Zbog mladosti tla, erozijskih procesa i učinka čovjeka, tlo ostaje na (A)-C stadiju razvoja. Sirozemi se razvijaju na rastresitim matičnim supstratima, a isključeni su aluvijalni, deluvijalni i eolski recentni nanosi. U odnosu na kamenjare sirozemi su veće plodnosti i stoga su općenito povoljniji za poljoprivrednu proizvodnju. Kako se razvijaju na rastresitim, ali različitim matičnim supstratima koji se ne troše jednakim intenzitetom, to će vrsta stijene, količina i usitnjenost trošine, kao i njezina dubina biti odlučujući čimbenik proizvodne vrijednosti ovih tala.

Niže su prikazane sistematske jedinice na razini podtipa, varijeteta i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Silikatni	Distrični Eutrični	Po teksturi: - pjeskoviti - glinoviti - ilovasti Po sadržaju skeleta: - slabo skeletni (<25%) - srednje skeletni (25-50%) - jako skeletni (> 50%)
Silikatno-karbonatni	Na lesu i lesolikim sedimentima Na laporu, lapornoj glini i jače laporovitim vapnencima Na karbonatnom pješčenjaku	Ilovasti Glinasti
Pjeskovito-dolomitni	Plitki (do 40 cm) Duboki (preko 40 cm)	

Sa stanovišta biljne proizvodnje najpovoljniji su silikatno-karbonatni regosoli na lesu i lesolikim sedimentima.

Sirozemi na rastresitim matičnim supstratima interpretiraju se prema FAO klasifikaciji na razini velikih grupa kao «Regosols».

2.1.3. Koluvijalno tlo (Deluvij ili Koluvij)

Koluvijalno tlo je nerazvijeno ili slabo razvijeno tlo s (A) ili Ap horizontom koje nastaje erozijom ranije stvorenih tala i matičnog supstrata ispiranjem s brdskih i planinskih područja i taloženjem ovog nesortiranog materijala u podnožju padine.

Za razliku od aluvijalnih tala, kod kojih postoji pravilno sortiranje materijala (sedimentacija) radi kratkoće puta kojim se materijal prenosi, kod koluvija ne dolazi do njegovog sedimentiranja. Skelet u kojem prevladavaju odlomci kamena nepravilno je izmiješan sa zemljišnim materijalom. Kvantitativni odnos skeleta ili/i matičnog supstrata, zemljišne sitnice, kao i fizikalno-kemijske značajke ovih komponenata, uvjetuju proizvodno-ekološku vrijednost ovih tala. Na zaravnjenim reljefskim formama može doći i do oglejavanja, pa i voda može biti jedan od ograničavajućih čimbenika u biljnoj proizvodnji. Ujedno su to i bili kriteriji za razvrstavanje koluvija na niže sistematske jedinice.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Eutrično silikatno Distrično silikatno Karbonatno Sa fosilnim tlom	S prevagom detritusa stijena, neoglejeno S prevagom detritusa stijena, oglejeno S prevagom zemljišnog materijala, neoglejeno S prevagom zemljišnog materijala, oglejeno Aluvijalno-koluvijalno, neoglejeno Aluvijalno-koluvijalno, oglejeno	Za sve varijetete: Po teksturi: - pjeskovito - glinasto - ilovasto Po sadržaju skeleta: - slabo skeletno (< 25%) - srednje skeletno (25-50%) - jako skeletno (> 50%)

Glede proizvodnih sposobnosti najpovoljniji su koluviji s prevagom sitnice i neoglejeni. Koluviji s prevagom skeleta su skromne plodnosti i najpodesniji su za pošumljavanje. Oglejeni koluviji, koji se javljaju na najnižim reljefskim formama koriste se uglavnom kao livade.

Koluvijalna tla prema FAO klasifikaciji na razini velikih grupa tala interpretiraju se kao «Regosols».

2.1.4. Eolski živi pijesci (Arenosoli)

Eolski živi pijesci nastaju pod utjecajem vjetrova (eolska erozija), pri čemu vjetar nosi pjeskoviti materijal i napuhuje ga, formirajući dine. Eolska erozija onemogućava pedogenetske procese i tlo ostaje na stadiju nerazvijenih tala. Arenosoli su propusna, suha i topla tla, slabo drže vodu i slabo su opskrbljena hranivima. U Hrvatskoj se arenosoli nalaze na nekoliko tisuća hektara u Lici, okolini Podravske Slatine, Đurđevca (Đurđevčki peski), a ima ih i uz more.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi i varijeteti:

Podtip	Varijetet
Kvarcni (manje od 95% kvarca)	Kontinentalni
Silikatni (više od 95% kvarca)	Morski
Silikatno-karbonatni ($\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3$)	

Mjere popravka: vjetrozaštitni pojasevi, pošumljavanje.

Prema FAO/UNESCO legendi na razini velike grupe eolski živi pijesci interpretiraju se kao «Arenosols».

2.2. Humusno akumulativna klasa tala (A-C profila)

Humusno-akumulativnu klasu tala karakterizira razvijeni humusno-akumulativni A horizont. Uz odgovarajuću kombinaciju pedogenetskih čimbenika svi procesi preoblikovanja i premještanja organske i mineralne tvari su suzdržani. Proces humifikacije prevladavaju u odnosu na procese mineralizacije, što rezultira plićim ili dubljim humusno-akumulativnim horizontom, tlo se obogaćuje humusom – humizacija.

Uvjeti za humizaciju su sljedeći:

- semiaridna do semihumidna klima s malom količinom oborina i velikim isparavanjem, pa klimatska suhoća onemogućava intenzivniju mineralizaciju i ostale procese transformacije i migracije,
- u planinskim područjima niske temperature i jaki vjetrovi, koji isušuju tlo pospješuju humizaciju,
- u humidnim područjima mogu se također stvoriti uvjeti pedoklimatske suhoće, koji uvjetuju humizaciju (propusan matični supstrat, nagnuti teren, plitkoća tla i izloženost vjetrovima).

U humusno-akumulativnu klasu ubrajaju se sljedeći tipovi: vapnenačko-dolomitna crnica, rendzina, ranker, černozem i smolnica.

2.2.1. Vapnenačko-dolomitna crnica (Kalkomelanosol)

Vapnenačko-dolomitna crnica obrazuje se na čvrstim mezozojskim vapnencima i dolomitima, u planinskim područjima (600-900-1600 m n.v.) i kod nas najčešće u humidnim klimatskim prilikama. Organska tvar potječe od planinskih pašnjaka i različitih šumskih biljnih zajednica. Čvrsti mezozojski vapnenci i dolomiti velike su čistoće i sadrže 98-99% kalcita (ili dolomita), koji se otapaju kemijski pod utjecajem ugljične kiseline. Proces otapanja vrlo je spor i nastali kalcijev bikarbonat $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ se ispire, pri čemu se akumulira svega 1-2% netopivog ostatka kao izvora mineralne komponente. Tlo je cijelim profilom nekarbonatno s vrlo malo mineralne komponente, koju erozijski procesi još dodatno umanjuju.

Organska tvar u uvjetima planinske klime, niskih temperatura i eventualno suhoće uvjetovane položajem u reljefu, uz nazočnost baza, podliježe procesima koji dovode do tvorbe moličnog humusno-akumulativnog A horizonta – nakupljanja humusa ili humizacije. Moguća je tvorba i organskog horizonta u izrazito nepovoljnim hidro-termičkim uvjetima (veća ocjeditost i niske temperature u visokim planinama).

Definicija:

Vapnenačko-dolomitna crnica je, dakle, tlo dubine do 30 cm s moličnim humusno-akumulativnim A horizontom ili organskim O horizontom, koji se može nalaziti iznad moličnog A horizonta, a neposredno su smješteni na čvrstom mezozojskom vapnencu ili dolomitu. Tlo je bogato humusom specifične tamnosmeđe do crne boje i cijelim profilom nekarbonatno (Škorić, 1990.).

Kalkomelanosoli međusobno se razlikuju po količini humusa, njegovoj povezanosti s mineralnom komponentom i po dubini. Genetsko-evolucijski gledano, tlo ide u pravcu stvaranja kalkokambisola (smeđe tlo na vapnencu) i crvenice. Ujedno su to i bili kriteriji za razvrstavanje ovog tla na niže sistematske jedinice od tipa.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
1. Organogena	1. Litična	Za sve varijetete prema vrsti humusnog horizonta: - s moličnim horizontom - s organskim horizontom
2. Organomineralna	Skeletna koluvijalna	
3. Posmeđena	2. Litična	
4. Ocrveničena	Koluvijalna	

Fizikalne značajke su različite, ovisno o podtipu i varijetetu, a kemijske više ujednačene. Iako su to nekarbonatna tla, stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama je visok (60-80%), s dominacijom kalcija i magnezija. Maksimalni adsorpcijski kompleks tla za baze iznosi 50 m.mol.ekv., a reakcija je neutralna do slabo kisela. Opskrbljenost fosforom je mala, kalijem nešto veća, a dušik može biti imobiliziran radi slabe mikrobiološke aktivnosti.

Vapnenačko-dolomitna crnica ne koristi se kao poljoprivredno tlo. U humidnim klimatskim prilikama, gdje se kod nas najčešće javlja, u uporabi je za ispašu stoke (planinski pašnjaci).

Prema FAO klasifikaciji na razini podgrupe kalkomelanosoli se interpretiraju kao «Mollic leptosols».

2.2.2. Rendzina

Rendzine su tla koja se razvijaju na rastresitim i karbonatnim matičnim supstratima, što je i njihova osnovna karakteristika. Različite klimatske prilike (aridna do perhumidna klima), propusnost tla i matičnog supstrata, izloženost eroziji radi nepovoljnog položaja u reljefu i plitkoća tla općenito uvjetuju suzdržane procese transformacije organske i mineralne tvari, pa tlo ostaje na A-C stadiju razvoja.

Rendzine se, za razliku od drugih tipova tala iz A-C klase, kao što je naglašeno, razlikuju po svom rastresitom karbonatnom matičnom supstratu. Razvijaju se na lesu i lesolikim sedimentima, laporu, laporovitim i mekim vapnencima, moreni, dolomitnoj trošini, karbonatnom pijesku i šljunku. Ovi se supstrati vrlo lagano fizikalno, kemijski i biološki troše i karbonatne čestice dopiru do same površine, pa su rendzine cijelim svojim profilom karbonatna tla.

U blago bazičnoj reakciji (prisustvo kalcijevog i magnezijevog karbonata) transformacija organske tvari ide u pravcu stvaranja moličnog humusno akumulativnog A horizonta bogatog huminskim kiselinama i njihovim solima humatima, koji može biti dubok do 40 cm. Genetsko-evolucijski gledano, prva faza u daljnjem razvoju rendzine je ispiranje CaCO_3 u obliku kalcijevog bikarbonata – *izluživanje*, a zatim dolazi i do začetka formiranja kambičnog (B)v horizonta – *posmeđivanje*. Rendzine su, u nepovoljnom reljefskom položaju, stalno izložene i erozijskim procesima, što, uz izraženo trošenje matičnog supstrata, uvjetuje

pomlađivanje tla. Matični supstrat i pedogenetski procesi ujedno su i bili glavni kriterij za razvrstavanje tla na niže sistematske jedinice od tipa.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
1. Na laporu, laporovitim i mekim vapnencima	1. Karbonatna	Za sve varijetete
2. Na lesu i lesolikim sedimentima	2. Izlužena	Po teksturi:
3. Na moreni	3. Posmeđena	- pjeskovita
4. Na dolomitnoj trošini	4. Koluvijalna	- glinovita
5. Na karbonatnom pijesku		- ilovasta
6. Na karbonatnom šljunku		Po sadržaju skeleta:
		- slabo skeletna (< 25%)
		- srednje skeletna (25-50%)
		- jako skeletna (> 50%)
		Za podtipove 4-6 i njihove varijetete 1-3 po dubini soluma:
		- plitka (do 20 cm)
		- srednje duboka (20-40 cm)
		- duboka (> 40 cm)

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija rendzine:

Rendzine su tla iz humusno akumulativne klase s moličnim A horizontom dubine do 40 cm, nakon kojega slijede prelazni AmoC horizont i rastresiti karbonatni matični supstrat C ili/i čvrsta stijena R. Tlo je cijelim profilom karbonatno osim izluženih i posmeđenih varijeteta.

Fizikalne značajke rendzine općenito su dobre, iako postoje razlike, ovisno o matičnom supstratu na kojem se razvijaju. Struktura humusno akumulativnog horizonta je zrnata i graškasta do poliedrična, a s prelaznim AmoC horizontom doseže dubinu i veću od 70 cm. Tlo je propusno, prozračno i toplo. Problem predstavljaju rendzine na moreni, jer sadrže velike količine skeleta, na laporu su težeg mehaničkog sastava, a pjeskovite na trošini dolomita. Proizvodno-ekološka vrijednost rendzina uvelike ovisi o dubini prelaznog AmoC horizonta, ali i o položaju u reljefu. Veliku ekološku dubinu imaju rendzine na lesu i lesolikim sedimentima, laporu i moreni, a plitke su rendzine na dolomitu. Kemijske značajke rendzina su povoljne. Reakcija tla je između 7 i 8, količina humusa je od 5 do 20%, a dobro su opskrbljene hranivima.

Najpovoljnije za poljoprivrednu proizvodnju su rendzine na lesu i lesolikim sedimentima.

Prema FAO/UNESCO legendi rendzine se na razini podgrupe interpretiraju kao «Rendzic leptosols».

2.2.3. Ranker

Ranker je tlo iz humusno akumulativne klase sklopa profila A-R ako je kontakt litičan, ili A-AC-C-R kod regolitičnog kontakta. Razvija se na neutralnim, bazičnim, kiselim i ekstremno kiselim stijenama. Ovisno o vrsti stijene, može imati ohrični, molični i umbrični humusno akumulativni A horizont ili organski O horizont. Tlo je cijelim svojim profilom nekarbonatno.

Ukoliko se razvijaju na neutralnim i bazičnim silikatnim stijenama i njihovoj trošini, bogatstvo bazama uvjetovat će formiranje zrelog humusa bogatog bazama – molični ili ohrični humusno akumulativni A horizont. Na kiselim matičnim supstratima siromašnim

bazama razvit će se umbrični humusno akumulativni A horizont, a na ekstremno kiselim supstratima sirovi humus – organski O horizont.

Fizikalne i kemijske značajke tla dosta variraju, ovisno o matičnom supstratu na kojem se tlo javlja. Reakcija može biti neutralna, kisela ili jako kisela, a količina humusa kreće se od 5-15%.

Na osnovi značajki izdvojeni su podtipovi: eutrični i distrični, varijeteti prema kontaktu (litični, regolitični) i stupnju pedogenetskih procesa, a forme prema mehaničkom sastavu i sadržaju skeleta.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Eutrično	Litično Regolitično Posmeđeno litično Posmeđeno regolitično Koluvijalno	Za sve varijetete: Po teksturi: - pjeskovito - glinovito - ilovasto Po sadržaju skeleta: - slabo skeletno (< 25%) - srednje skeletno (25-50%) - jako skeletno (> 50%)
Distrično	Litično Regolitično Posmeđeno litično Posmeđeno regolitično Podzolirano litično Podzolirano regolitično Koluvijalno	

Rankeri su šumska tla. Eutrični podtipovi bogati bazama dobra su šumska tla, a manje su povoljni distrični rankeri siromašni hranivima.

Prema FAO klasifikaciji rankeri se na razini velike grupe stavljaju u odnos s leptosolima.

2.2.4. Černozem

Černozem je tlo iz A-C klase s moličnim humusno akumulativnim horizontom dubljim od 40 cm. Javlja se na rastresitim karbonatnim matičnim supstratima u aridnom i semiaridnom stepskom području. Sklop profila je Amo – AmoC – C, a u prelaznom AmoC horizontu ili od površine nalaze se pseudomiceliji i krtovine, kao karakteristični dijagnostički znakovi.

Ovo tlo nalazi se u istočnom dijelu naše zemlje u aridnijim klimatskim uvjetima s godišnjom količinom oborina oko 600 mm i srednjom godišnjom temperaturom od 11°C do 12°C. Prirodna vegetacija su stepske trave. Razvija se na lesu i lesolikim sedimentima, karbonatnom eolskom pijesku i aluvijalnim nanosima. Reljef je ravan, a Škorić 1973. i 1991. izdvaja černozeme na tri pozicije:

- na lesnim platoima (90-120 m n.v.),
- na lesnim terasama (75-90 m n.v.), i
- na starim riječnim terasama (cca 70 m n.v.).

Podzemna voda nalazi se na dubini između 10 i 40 m i nema utjecaja na razvoj tipičnog černozema. Jedino kod onih černozema koji se nalaze na najnižim pozicijama postoji

moćnost oglejavanja dublje od 1 m, a eventualno može doći i do zaslanjivanja ili/i alkalizacije (manje od 1% klorida i sulfata, manje od 0,7% sode, te više od 7% natrija na adsorpcijskom kompleksu).

Uvjeti postanka černozeza vezani su uz aridne do semiaridne klimatske prilike i travne stepske biljne formacije. Ljeta su suha s visokim temperaturama, relativna vlažnost zraka je niska, a zime su hladne. U takvim uvjetima trošenje mineralne komponente i tvorba gline slabo su izraženi. Moguće je ispiranje CaCO_3 u obliku kalcijevog bikarbonata, ali i njegova ascenzija u dijelu godine, tako da su černozezi karbonatni čitavim svojim profilom. Kod izluženih varijeteta humusno akumulativni horizont je nekarbonatan, a karbonati se javljaju u prelaznom AmoC horizontu i dublje. Izlučeni CaCO_3 javlja se u obliku konkreција i iscjetanja bijelih niti sličnih plijesni, pa se nazivaju pseudomicelij.

Radi nepovoljnih klimatskih uvjeta, suhoće i vrućine u ljeti, te zimske hladnoće, rad mikroorganizama je usporen. Procesi transformacije organske tvari (odumrle stepske trave), uz prisustvo CaCO_3 , idu u pravcu nagomilavanja zrelog humusa. Tvorí se duboki molični humusno akumulativni A horizont specifične tamne boje i stabilne mrvičaste strukture. Intenzivan je i rad stepske faune – tekunice, koja vrlo intenzivno miješa tlo i pravi hodnike (krtovine), koji se jasno uočavaju u prelaznom AmoC i C horizontu.

U vlažnijim (zapadnijim) prilikama istočne Slavonije dolazi do izluživanja, pojačava se mineralizacija i intenzivnije je trošenje mineralne komponente, te dolazi do posmeđivanja. Tvorí se inicijalni (B)_v kambični horizont.

Matični supstrat bio je ključni element za izdvajanje podtipova. Varijeteti su izdvojeni na osnovi procesa, a forme prema dubini moličnog humusno akumulativnog A horizonta.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Na lesu i lesolikim sedi-Mentima	Karbonatni Izluženi Posmeđeni Karbonatno oglejeni Izluženo oglejeni Posmeđeno oglejeni Zaslanjeni i alkalizirani	Za sve varijetete prema dubini A horizonta: - plitki (do 40 cm) - srednje duboki (40-80 cm) - duboki (preko 80 cm)
Na karbonatnom eolskom Pijesku	Karbonatni Izluženi Karbonatno oglejeni	
Na aluvijalnom nanosu	Izluženo oglejeni	

Najveći dio černozeza razvija se na lesu i ilovaste je teksture, na eolskom pijesku su lakši po teksturi, a posmeđeni mogu biti i glinasto ilovasti. Tlo je mrvičaste strukture i povoljnih vodo-zračnih odnosa s odnosom pora 3:2. Tlo je propusno, prozračno i s dobrim toplinskim režimom.

Kemijske značajke tla općenito su povoljne. Količina humusa kreće se od 4-6%, a kod degradiranih černozeza je to i ispod 2%. Černozezi imaju najpovoljniji C:N odnos 10:1. Reakcija kod karbonatnih černozeza je 7,5 do 8,5, a nekarbonatni imaju pH 7. Kapacitet adsorpcije iznosi 30-35 m.mol.ekv., a stupanj zasićenosti bazama je visok.

Biološka aktivnost černozeza je velika. U ljetnim mjesecima mineralizacija je slabo izražena, pa se ne oslobađaju dovoljne količine dušika u tijeku vegetacije. Za postizanje visokih i stabilnih prinosa preporuča se navodnjavanje, a problem može biti kod višeg pH i uz prisustvo CaCO_3 i imobilizirani fosfor.

Černozezi su naša najkvalitetnija poljoprivredna tla. Zauzimaju područje istočne Hrvatske, a to je naša žitnica gdje uspijevaju najvažnije ratarske kulture.

Prema FAO/UNESCO legendi na razini velike grupe černozemi se interpretiraju kao «Chernozems».

2.2.5. Smolnica

U Hrvatskoj su smolnice zastupljene svega s desetak tisuća hektara i stoga su, glede poljoprivredne proizvodnje, od manjeg značaja. Za njihovo formiranje posebno je značajan matični supstrat, koji je bogat smektitnim tipom gline (više od 30%), a to su jezerski karbonatni sedimenti – lapor, bazične i ultrabazične stijene. Drugi važan čimbenik obrazovanja smolnica je klima, koju karakterizira izmjena suhih i vlažnih perioda. Javlja se u uvjetima blago valovitog reljefa (200-600 m n.v.), a prirodnu vegetaciju čine kserotermne hrastove šume.

Tlo nastaje procesom *pedoturbacije*. U vlažnom dijelu godine smektit bubri i tlo ima «smolastu» konzistenciju. Prevladavaju anaerobni uvjeti, prirodna drenaža je loša i tvori se specifični humus bogat nižemolekularnim huminskim kiselinama i bituminoznim tvarima – hidromorfni humus specifične tamne boje. U suhom dijelu godine radi kontrakcije volumena smektita dolazi do pucanja tla, stvaraju se pukotine u koje se trusi sitnica iz površinskog horizonta. Nailaskom vlažne faze hidrofilni koloidi bubre i tlo se poput klinova izdiže prema površini. Ovo specifično miješanje naziva se pedoturbacija. Pri pomicanju tla na dodirnim plohama stvaraju se sjajne glatke površine (engl. slickensides), a nastali reljef u kojem se izmjenjuju mikrouzvisine i mikrodepresije naziva se «gilgaj».

Genetsko-evolucijski gledano, smolnice idu u pravcu razvoja eutričnih kambisola, odnosno tvorbe (B)v horizonta. Pedogenetski procesi, matični supstrat, te dubina humusno akumulativnog horizonta bili su kriteriji za izdvajanje nižih sistematskih jedinica od tipa.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Karbonatna	Na laporu Na glinovitim sedimentima	Po dubini A horizonta, osim za posmeđenu na bazičnim i ultrabazičnim stijenama gdje su forme izdvojene po dubini soluma.
Nekarbonatna Posmeđena	Na glinovitim supstratima Na bazičnim i ultrabazičnim stijenama	

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija smolnica:

Smolnice su tla iz humusno akumulativne klase, koja se razvijaju na matičnim supstratima s više od 30% smektitnog tipa gline. Imaju specifični tamni molični humusno akumulativni A horizont hidromorfnog karaktera dublji od 30 cm s oznakom Amo,a. Prelazni horizont dubine je 20-30 cm, pa je grada profila Amo,a – AC – C.

Kao što je vidljivo, ova tla imaju dobre kemijske, a loše fizikalne značajke. Tlo ima prizmatičnu strukturu, izrazito je nepovoljnih vodo-zračnih i toplinskih odnosa. U vlažnom stanju je plastično i ljepljivo, a u suhom kompaktno, tvrdo i raspucano. To su tzv. minutna tla s vrlo kratkim periodom u kojem se mogu obrađivati.

Kemijske značajke su, kao što je rečeno, povoljne. Karbonatni podtipovi imaju reakciju tla od 7,0 do 8,0, a nekarbonatni su neutralne reakcije. Zasićenost bazama je visoka, a kapacitet adsorpcije može biti i veći od 50 m.mol.ekv.

Smolnice se prema FAO klasifikaciji na razini velike grupe interpretiraju kao «Vertisols».

Mjere popravka: popravljanje fizikalnih značajki (mehaničkog sastava) pjeskanjem, te navodnjavanje.

2.3. Klasa kambičnih tala /A-(B)-C profila/

Klasu kambičnih tala karakterizira formiranje kambičnog (B) horizonta. Tla iz ove klase javljaju se u uvjetima veće vlažnosti i dobre prirodne drenaže. U takvim uvjetima više je izraženo kemijsko i biološko trošenje stijena. Iz produkata trošenja (aluminijevi, silicijevi i željezni hidroksidi) sekundarno se tvori glina – *argilogeneza*. Zaostali željezni oksidi, do različitog stupnja hidratizirani, daju karakterističnu žućkastu, smeđkastu ili crvenkastu nijansu boje kambičnog horizonta. Iz matičnog supstrata također se može osloboditi glina – *oglinjavanje* ili se može pojaviti kao rezultat trošenja primarnih minerala. Na ovakav se način formira kambični (B) horizont, a opisani procesi kojima on nastaje nazivaju se *posmeđivanje ili braunizacija*. Crvena boja kambičnog horizonta kod crvenica potiče od hematita – *rubifikacija*.

U ovu se klasu ubrajaju četiri tipa tla: eutrično smeđe, kiselo smeđe, smeđe na vapnencu i dolomitu, te crvenica.

2.3.1. Eutrično smeđe tlo (Eutrični kambisol)

Eutrična smeđa tla javljaju se u uvjetima aridne, semiaridne i humidne klime. Razvijaju se na različitim matičnim supstratima bogatim bazama. Isključeni su čvrsti mezozojski vapnenci i kisele stijene. Najveći dio eutričnih smeđih tala formira se na lesu i lesolikim sedimentima, bazičnim i neutralnim eruptivnim stijenama, laporu i metamorfitima. U prirodnim uvjetima eutrični kambisoli pokriveni su kserotermnim do mezofilnim bjelogoričnim šumama koje su djelomično iskrčene (gajevi). Reljef je valovit, a nadmorska visina je između 100 i 500 m.

Tlo opećnito ima dobru prirodnu drenažu, povoljni su vodo-zračni odnosi i dublje je vlaženje. Stoga je na karbonatnim matičnim supstratima došlo do ispiranja karbonata u obliku bikarbonata i do blagog zakiseljavanja (acidifikacije) tla. Kod nekarbonatnih matičnih supstrata dolazi do ispiranja baza – *debazifikacije* i također do blagog zakiseljavanja tla. U povoljnim hidrotermičkim uvjetima kakvi kod ovog tla vladaju, biološka aktivnost je velika i glede toga velika je i produkcija CO₂. Ugljični dioksid jaki je agens trošenja mineralne komponente. Iz produkata trošenja neogenetskim putem (argilogeneza) formira se glina. Preostali željezni oksidi, hidratizirani do različitog stupnja, daju tlu karakterističnu smeđu ili smeđkastu boju – tvori se kambični (B)v horizont. Kod karbonatnih matičnih supstrata karbonati su isprani iz humusno akumulativnog A horizonta i (B)v horizonta. Moguća je njihova akumulacija u dubljim dijelovima profila u (B)ca i Cca podhorizontu.

U prisutnosti velike količine baza i povoljnoj reakciji tla humifikacija ide u pravcu stvaranja humusa blagog karaktera.

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija eutričnog kambisola:

To je tlo s moličnim Amo ili ohričnim Aoh humusno akumulativnim horizontom koji leži na kambičnom (B)v horizontu ispod kojeg se nalazi rastresiti matični supstrat C ili čvrsta stijena R. Razvija se na gotovo svim matičnim supstratima osim na čvrstim mezozojskim vapnencima i kiselim stijenama. Stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla bazama je iznad 50%, a reakcija tla mjerena u vodi veća je od 5,5.

Matični supstrat, pedogenetski procesi, kontakt sa stijenom i mehanički sastav bili su kriteriji za razvrstavanje na niže sistematske jedinice od tipa.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Na lesu i lesolikim sedimentima	Tipično Ilimerizirano Tipično oglejeno Ilimerizirano oglejeno	Za sve varijetete po teksturi: - pjeskovito - glinovito - ilovasto
Na bazičnim i neutralnim eruptivnim stijenama	Litično Regolitično Vertično	
Na peridotitu i serpentitu	Litično Vertično	
Na jezerskim sedimentima	Tipično Ilimerizirano Vertično Pseudoglejno	Po sadržaju skeleta: - slabo skeletno (< 25%) - srednje skeletno (25-50%) - jako skeletno (> 50%)
Na aluvijalnom, koluvijalnom i eojskom nanosu	Tipično Ilimerizirano Vertično Tipično oglejeno Ilimerizirano oglejeno Vertično oglejeno	
Na glincu	Tipično Ilimerizirano Vertično	
Na amfibolitskim škriljcima	Litično Regolitično Ilimerizirano	

Fizikalne i kemijske značajke tla općenito su vrlo povoljne. Kako navodi Škorić 1990. po mehaničkom sastavu u površinskom humusno akumulativnom A horizontu tlo je ilovasto do glinasto ilovasto, a u (B)v horizontu glinasto-ilovasto do ilovasto glinasto. Tlo je dobre i stabilne strukture, povoljnih vodo-zračnih i toplinskih odnosa. Kemijske značajke, kao što je naglašeno, također su dobre. Reakcija tla mjerena u vodi veća je od 5,5. Količina humusa kreće se između 2 i 6%, a C:N odnos je 9 do 14:1. Tlo je nekarbonatno s visokim stupnjem zasićenosti bazama, iznad 50%, pa i do 90%.

Eutrična smeđa tla su duboka, osim litičnih varijeteta i dobro opskrbljena hranivima, pa su to izvanredna poljoprivredna i šumska tla. Glede poljoprivredne proizvodnje najbolja su eutrična smeđa tla na lesu i lesolikim sedimentima, jezerskim sedimentima i aluvijalnim nanosima. Na bazičnim i neutralnim stijenama, te na peridotitu (ultrabazična stijena) su plitka i skeletna, pa su to pretežno šumska tla.

Posebne mjere popravka ovih tala nisu nužne, osim kod lesiviranih varijeteta gdje se preporuča duboka obrada.

Eutrična smeđa tla prema FAO/UNESCO legendi interpretiraju se na razini podgrupe kao «Eutric cambisols».

2.3.2. Kiselo (distrično) smeđe tlo

Kiselo smeđe tlo razvija se na kiselim matičnim supstratima. Ima ohrični ili umbrični humusno akumulativni A horizont, eventualno i organski O nakon kojeg slijedi kambični (B)v horizont. Sklop profila je A-(B)v-C ili/i R. Reakcija tla mjerena u vodi je ispod 5,5, a stupanj zasićenosti bazama je manji od 50%.

Kisela smeđa tla, kao što je u definiciji rečeno, razvijaju se uglavnom na kiselim stijenama siromašnim bazama. Vegetaciju čine šumske i travne biljne formacije. Distrična smeđa tla javljaju se u humidnim i perhumidnim klimatskim prilikama. Reljef je brdski i planinski.

U ovakvim uvjetima intenzivno je kemijsko i fizikalno trošenje silikatnih stijena. Iz produkata trošenja obrazuje se glina, a zaostali željezni oksidi, do različitog stupnja hidratizirani, daju nastalom kambičnom (B)v horizontu karakterističnu smeđu, žućkastu ili crvenkastu boju.

Transformacija mrtve organske tvari uz prisustvo malo baza (kisele silikatne stijene), nisku reakciju tla, te zbog hladnoće, ide u pravcu stvaranja umbričnog humusno akumulativnog A horizonta, ohričnog ili se eventualno u ekstremnijim prilikama obrazuje i organski O horizont.

Vrsta humusno akumulativnog horizonta, te pedogenetski procesi bili su kriterij za izdvajanje podtipova. U vlažnim klimatskim prilikama i kod više propusnih matičnih supstrata pojavljuju se znaci lesivaže – slabo izraženi eluvijalni E horizont. Kod tala težeg mehaničkog sastava može doći i do zadržavanja površinskih voda koji uzrokuju pseudooglejavanje. Kod ekstremno kiselih matičnih supstrata s vrlo malo baza može doći i do podzolizacije. Varijeteti su izdvojeni na osnovi matičnog supstrata, a forme po dubini soluma.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Tipično (obični humus) Humusno (umbrični humus) Ilimerizirano Pseudooglejno	Prema matičnom supstratu: - na brečama - na pješčenjacima - na glincima - na pijesku - na glini - na rožnjaku - na kiselim eruptivima - na neutralnim i bazičnim eruptivima - na kristalastim škriljcima	Prema dubini soluma za sve varijetete: - plitko (do 40 cm) - srednje duboko (40-70 cm) - duboko (preko 70 cm)
Podzolirano	Na kiselim silikatnim supstratima Na kvarcnim supstratima	

Kao što je vidljivo, fizikalne značajke ovog tla općenito su povoljne, a kemijske su loše. Reakcija tla mjerena u vodi manja je od 5,5, a stupanj zasićenosti tla bazama manji je od 50%. Humusa ovo tlo može imati od 3-10%, a C:N odnos je nepovoljan (15:1 do 22:1). Opskrbljenost hranivima je mala, a mikrobiološka aktivnost suzdržana (problem s dušikom).

Ova se tla pretežno nalaze pod šumama ili su to travnjaci, a tamo gdje za to postoji mogućnost (manje nadmorske visine) u uporabi su i kao poljoprivredna tla. U intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji zahtijevaju kemijske melioracije: reguliranje reakcije kalcifikacijom, te melioracijska gnojidba fosforom i kalijem.

Prema FAO klasifikaciji kiselo smeđe tlo na razini podgrupe interpretira se kao «Dystric Cambisols».

2.3.3. Crvenica (Terra rossa)

Crvenice se razvijaju na čvrstim mezozojskim vapnencima i dolomitima u uvjetima mediteranske i sredozemne klime. Klimu karakteriziraju vruća i suha ljeta te vlažne i tople zime. Vegetaciju čine degradirane kserotermne biljne zajednice (zimzeleni hrast, crni bor, hrast međunac, kserotermne travne biljne formacije). Crvenice se javljaju u uvjetima brdskog kraškog reljefa i na zaravnjenim reljefskim formama do cca 500 m n.v. Najveće površine zauzimaju u primorskom pojasu (Dalmacija, Primorje, Istra i Hercegovina).

Nazočne su dvije teorije postanka crvenica (Škorić, 1990):

- rezidualna, i
- klimolitogena.

Prema rezidualnoj teoriji mezozojska čvrsta vapnenačka stijena sastoji se od 99% CaCO_3 (kalcit), koji se troši kemijski pod utjecajem ugljične kiseline. Nastali kalcijev bikarbonat je topiv i ispire se, pa je tlo cijelim solumom nekarbonatno. Ovaj proces dekarbonatizacije vrlo je spor i potrebno je deset tisuća godina da se otopi pet metara debeo sloj vapnenca, a da se pri tome stvori samo 1 cm tla. Nakon dekarbonatizacije zaostaje mineralna komponenta – rezidij (netopivog ostatka ima manje od 0,2%), koji se sastoji od silikata, oksida željeza i aluminija i teških metala. Odnos $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ (seskvioksidi) je uzak i iznosi 1,3 – 1,5, a hematitni oblik željeza daje crvenu boju kambičnom (B)rz horizontu.

Prema klimolitogenoj teoriji postanak crvenica smješta se u davnu prošlost u subtropske klimatske uvjete i alkalnu reakciju. U takvim uvjetima topiv je silicijev dioksid i došlo je do desilikacije, a oslobodili su se seskvioksidi (oksidi željeza i aluminija). Iz produkata trošenja obrazovala se glina montmorilonitnog tipa, a dehidrirani oblici željeza (hematit) daju karakterističnu crvenu boju kambičnog (B)rz horizonta. Po ovoj je teoriji crvenica reliktno tlo zaostalo iz tercijara.

U pleistocenu u vrijeme interglacijala kada su puhali jaki vjetrovi tlo je premještanu i odlagano na druga mjesta. Eolska erozija, kako navodi Škorić ibid., uvjetovala je i napuhivanje lesa, a i drugih materijala na crvenice. Ovi erozijski procesi djeluju i danas, pa je jedan dio crvenica smješten u džepovima koluvijalnog porijekla. Nadalje, i čovjek svojim aktivnostima (nanošenjem tla, ograđivanjem, gnojdbom i slično) sudjeluje kao važan čimbenik u obrazovanju crvenica. Crvenice su glede toga jednim dijelom i antropogena tla.

Kako je ranije navedeno, organska tvar je oskudna i u uvjetima mediteranske klime (vlažno, toplo i relativno dugačko jesensko-zimsko razdoblje) procesi mineralizacije prevladavaju nad procesima humifikacije. U nazočnosti baza obrazuje se blagi humus – ohrični.

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija crvenica:

Crvenice su tla koja se razvijaju na čvrstim mezozojskim vapnencima i dolomitima s kambičnim (B)rz horizontom crvene boje (po Munsellovom atlasu boja 2,5 YR i 10R s value i chroma više od 3). Sklop profila je Aoh – (B)rz – R i nekarbonatan je. Javljaju se u uvjetima mediteranske i submediteranske klime. Struktura tla je stabilna poliedrična, a teksturno su to teža tla s učešćem smektitnog tipa gline.

Niže kategorije od tipa izdvojene su na osnovi pedogenetskih procesa (začeci formiranja eluvijalnog E horizonta – lesivaža) i prema dubini soluma.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi i varijeteti:

Podtip	Varijetet
Tipična Ilimerizirana	Prema dubini soluma: - plitka (do 40 cm) - srednje duboka (40-70 cm) - duboka (preko 70 cm)

Fizikalne i kemijske značajke tla općenito su povoljne. Kao što je naglašeno, tlo ima vrlo stabilnu poliedričnu strukturu, iako je nešto težeg mehaničkog sastava. Vodo-zračni odnosi su dobri. To su prozračna i propusna tla.

Crvenice su humusom slabije opskrbljene s nešto više od 3%, a erodirane i obrađene imaju ispod 2% humusa. Kapacitet adsorpcije kreće se između 30 i 60 m.mol.ekv., a stupanj zasićenosti bazama je visok. Reakcija tla je neutralna do slabo kisela. Opskrbljenost fosforom je slaba.

Osnovni problem u biljnoj proizvodnji je nedostatak vode u ljetnim mjesecima, kraški reljef s udubljenjima i pukotinama gdje je smješteno tlo kao i erozijski procesi. Crvenice je glede toga nužno navodnjavati, obogaćivati organskom tvari, a u obzir dolazi i zaštita tla od erozijskih procesa.

Crvenice se prema FAO klasifikaciji na razini podgrupa interpretiraju kao «Chromic cambisols».

2.3.4. Smede tlo na vapnencu i dolomitu (Kalkokambisol)

Kalkokambisoli se razvijaju kao i crvenice na čistim mezozojskim vapnencima i dolomitima. Javljaju se u istom području kao i crvenice, s time da se mogu nalaziti i u višim planinskim područjima na preko 1700 m n.v. Prirodnu vegetaciju čine bjelogorične, crnogorične i mješovite šume, te travnjaci.

Procesi postanka ovog tla identični su onima kod crvenice, pri čemu u rezidiju ima više netopivog ostatka (0,2 – 0,8%) i odnos $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ je veći od 2 (manje je oksida željeza i aluminija). Oksidi željeza više su hidratizirani (getit) što daje karakterističnu smeđu boju kambičnom (B)rz horizontu. Oslobođena glina iz matičnog supstrata (oglinjavanje) je rezistentna tako da je argilogeneza (tvorba gline) slabije izražena.

Tvorba humusa povezana je s nadmorskom visinom na kojoj se kalkokambisol javlja. Porastom nadmorske visine raste humidnost klime i mijenjaju se biljne zajednice, pa je i humizacija (nagomilavanje humusa) s porastom visine veća. U nazočnosti baza tvori se molični ili ohrični humusno akumulativni horizont.

Pedogenetski procesi bili su kriterij za izdvajanje podtipova. Prema dubini soluma izdvojeni su varijeteti, a forme na osnovi mehaničkog sastava.

Podtip	Varijetet	Forma
Tipično Ilimerizirano	Prema dubini soluma: - plitko (do 35 cm) - srednje duboko (30-50 cm) - duboko (preko 50 cm)	Za sve varijetete po teksturi: - ilovasto - glinovito

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija kalkokambisola:

To su tla s moličnim ili ohričnim humusno akumulativnim horizontom sa sklopom profila Amo ili Aoh – (B)rz – R. Matični supstrat su čvrsti mezozojski vapnenci i dolomiti. Tlo je cijelim svojim profilom nekarbonatno. Reakcija tla mjerena u vodi veća je od 5,5. Mehanički sastav je ilovast ili teži, a struktura je stabilna poliedrična.

Fizikalne i kemijske značajke kalkokambisola općenito su povoljne. Tekstura je teža s većim sadržajem gline smektitnog tipa, a struktura je stabilna poliedrična. Tlo je propusno, dobrih vodo-zračnih i toplinskih odnosa.

Količina humusa je promjenljiva. Pod prirodnom vegetacijom i na većim visinama ima ga i do 10%, u prosjeku oko 5%. Na obrađenim površinama humusa ima 2-3%. Reakcija tla mjerena u vodi u A horizontu iznosi 5,5 – 6,0, a u (B)rz 6,0 – 6,6. Stupanj zasićenosti bazama je visok. Kapacitet adsorpcije u A horizontu iznosi 50-60 m.mol.ekv., a u (B)rz je nešto niži. Fosfora, kao i kod crvenica ima malo, a kalija nešto više.

Kalkokambisoli na nižim pozicijama odlična su poljoprivredna tla (vinogradarstvo, voćarstvo), no ipak su to pretežno šumska tla.

Kao i kod crvenica kraški reljef i nedostatak vode osnovni su problem u proizvodnji pa je navodnjavanje ključna melioracijska mjera za postizanje stabilnih prinosa poljoprivrednih kultura.

2.4. Klasa eluvijalno-iluvijalnih tala (A-E-B-C sklopa profila)

Tla iz ove klase javljaju se u humidnim i perhumidnim klimatskim područjima u uvjetima dobre prirodne drenaže. Glede toga naglašena je migracija seskvioksida, minerala gline i humusa iz površinskih horizonata i njihovo taloženje u dubljim dijelovima soluma. Na ovaj način dolazi do oštrog diferencijacije pedološkog profila, odnosno formira se eluvijalni E i iluvijalni B horizont (grada profila A-E-B-C).

U ovu klasu izdvojena su 3 tipa tla: lesivirano, podzol i brunipodzol.

2.4.1. Lesivirano (Ilimerizirano) tlo

Lesivirana tla se nalaze u humidnim klimatskim prilikama. Prirodnu vegetaciju čine bjelogorične, crnogorične i mješovite šume. Javljaju se na različitim matičnim supstratima, a najčešće su to les i lesoliki sedimenti, jezerski sedimenti, aluvijalni i kolvijalni nanosi. Reljef je ravan i valovit s nadmorskom visinom između 100 i 700 m.

U opisanoj konstelaciji pedogenetskih čimbenika, a napose uslijed povećane količine oborina i radi dobre prirodne drenaže profila, dolazi do ispiranja baza (kalcija i magnezija) iz adsorpcijskog kompleksa tla – debazifikacija. Prvotni proces kod silikatno-karbonatnih supstrata je dekarbonatizacija, a zatim slijedi debazifikacija i acidifikacija profila. Na adsorpcijski kompleks smještaju se vodikovi ioni, te dolazi do postupnog zakiseljavanja ili acidifikacije pedološkog profila. Glede toga strukturni se agregati peptiziraju (raspršuju) te se u uvjetima kisele reakcije (pH 4,5 – 6,5) ispiru glina i hidratizirani seskvioksidi. Formira se eluvijalni E horizont vidno osiromašen ovim komponentama, svjetliji po boji i lakše teksture.

Čestice gline talože se dublje u profilu na stijenkama pora i dodirnim plohama strukturnih agregata, pri čemu se formiraju sjajne površine od čestica gline. Na ovaj se način obrazuje iluvijalni Bt horizont obogaćen glinom i eventualno hidratiziranim seskvioksidima. Tlo je oštro izdiferencirano i solum dobiva A-E-Bt-C sklop profila.

U nešto kiselijim uvjetima sredine odumrla organska tvar transformira se u pravcu kiselog humusa – umbrični ili ohrični humusno akumulativni horizont.

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija:

Luvisoli su tla iz eluvijalno-iluvijalne klase, slabo do umjereno kisela, s umbričnim ili ohričnim humusno akumulativnim A horizontom i rijetko organskim. Sklop profila je A-E-Bt-C.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Na silikatnim i silikatno karbonatnim supstratima	Tipično Pseudooglejeno Tipično oglejeno Pseudooglejeno oglejeno Podzolirano	Po teksturi u A+E horizontu: - pjeskovito - glinovito - ilovasto Po sadržaju skeleta na: - slabo skeletno (< 25%) - srednje skeletno (25-50%) - jako skeletno (> 50%)
Na čistim vapnencima i Dolomitima	Tipično Akrično (vrištinsko)	Izvan vrtače U vrtači

U umjerenim humidnim klimatskim prilikama i lakšu teksturu prevladavaju tipični luvisoli. S porastom humidnosti klime i radi slabije unutrašnje drenaže pedološkog profila (glina u Bt horizontu) može doći do pseudooglejavanja. Na ekstremno kiselim silikatnim matičnim supstratima može doći i do podzolizacije (začetak formiranja podzoliranog E i B horizonta). Na nižim reljefskim formama moguće je i oglejavanje, ali na većoj dubini od 1 m.

Za podtipove na vapnencu i dolomitu izdvojeni su tipični i akrični varijeteti. Kod akričnog varijeteta na B horizont, koji je ostatak crvenice, nanoseni su alohtoni depoziti (alohtoni E horizont) s niskim stupnjem zasićenosti bazama (< 35%) i umbričnim humusno-akumulativnim A horizontom.

Lesivirana tla općenito imaju loše fizikalne i kemijske značajke.

Pod prirodnom vegetacijom humusa ima 6%, a na obradivim površinama 2%, pri čemu u njegovom sastavu prevladavaju fulvokiseline. Nepovoljan je C:N odnos i kreće se od 12 do 20:1.

Tlo je, kao što je naglašeno, oštro izdiferencirano. Eluvijalni E horizont lakši je po teksturi, iz njega su isprane baze i kiselije je (pH mjeren u vodi iznosi 5-6). Stupanj zasićenosti bazama je između 30 i 50%, a kapacitet adsorpcije je između 10 – 20 m.mol.ekv.

Bt horizont teži je po teksturi. Reakcija tla veća je u odnosu na eluvijalni E horizont (pH mjeren u vodi je 6-6,5), a stupanj zasićenosti bazama je između 50 i 70%. Ispod iluvijalnog Bt horizonta nalazi se matični supstrat C ili R, a ako se radi o karbonatno silikatnim matičnim supstratima, isprani CaCO_3 se akumulira u C horizontu i označava se sa Cca, a tek onda slijedi C.

Iz izloženoga proizlazi da su nužne mjere popravka ovog tla – agromelioracije. Za proizvodnju ratarskih kultura preporuča se duboka obrada i podrivanje glede nepovoljne stratigrafije. Na ovaj se način izmiješaju humusno-akumulativni A, eluvijalni E i dio iluvijalnog Bt horizonta. U voćarskoj i vinogradarskoj proizvodnji nužno je provesti rigolanje. Za postizanje stabilnih i visokih prinosa poljoprivrednih kultura tlo treba kalcificirati, a nužne su i melioracijske doze fosfora i kalija.

Prema FAO/UNESCO legendi na razini velike grupe lesivirana tla odgovaraju pojmu «Luvisols».

2.4.2. Podzol

Podzoli su tla iz eluvijalno-iluvijalne klase, a javljaju se u području perhumidne klime u planinskim područjima iznad 900 m n.v. Prirodnu vegetaciju čine crnogorične ili mješovite šume, a razvijaju se na ekstremno kiselim silikatnim matičnim supstratima. U Hrvatskoj zauzimaju svega oko 2000 ha u Gorskom kotaru i Lici.

U opisanoj konstelaciji pedogenetskih čimbenika dolazi do procesa podzolizacije. Matični supstrat ekstremno je kiseo i siromašan bazama. Odumrla organska tvar obiluje fulvokiselinama, koje na tlo djeluju destruktivno. U ekstremno kiseljoj reakciji dolazi do potpunog razaranja minerala gline i do ispiranja produkata raspadanja i humusa. Ispiru se hidratizirani seskvioksidi, željezo, aluminij i mangan u ionskom obliku i organska tvar u formi helata (fulvokiseline poput klijesta obuhvaćaju katione). U kiselim uvjetima sredine SiO_2 (kvarc) nije topiv i zaostaje u obliku bijelih zrnaca, te se formira podzolirani eluvijalni E horizont ispod kojeg se nalaze podzolirani Bh i Bfe horizont. Tlo je oštro izdiferencirano i sklop profila je O-A-E-Bh-Bfe-C.

U visokim planinama u uvjetima perhumidne klime i nekvalitetne odumrle organske tvari (širok C : N odnos) nakuplja se nerazgrađena organska tvar kao organski O horizonti ili se razvija umbrični humusno akumulativni A horizont.

Niže se daju podtipovi, varijeteti i forme.

Podtip	Varijetet	Forma
Željezni Humusno-željezni	Prema dubini E horizonta: - slabi (0-10 cm) - umjereni (10-20 cm) - jaki (preko 20 cm)	Za sve varijetete prema matičnom supstratu: - na kvarcnom pješčenjaku - na kvarcitu - na rožnjaku - na kiselim eruptivima - na filitu - na pijescima

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija:

Podzoli su tla iz eluvijalno-iluvijalne klase koja se razvijaju na kiselim silikatnim matičnim supstratima. Imaju organski O ili umbrični humusno akumulativni A horizont ispod kojeg se nalazi pepeljasto sivi podzolirani E horizont nakon kojeg slijedi iluvijalni humusni Bh ili/ iluvijalni željezni Bfe horizont. Reakcija tla mjerena u vodi ispod je 5, a stupanj zasićenosti bazama ispod 35%.

Fizikalne i kemijske značajke, kao što je vidljivo, izuzetno su nepovoljne. To su pjeskovita i prozirna tla malog kapaciteta za vodu i neizražene strukture. Humusa (pretežno sirovog) ima i više od 25%. Izuzetno je nepovoljan C:N odnos ($> 20:1$), a reakcija tla mjerena u vodi ispod je 5. Hidrolitska kiselost u A horizontu, kako navodi Škorić, 1990., izuzetno je visoka i može biti veća od 100. Tlo je ekstremno siromašno bazama i ima vrlo mali kapacitet adsorpcije.

Podzoli nisu poljoprivredna tla, a s obzirom da zauzimaju male površine, od manjeg su značenja i u šumarskoj proizvodnji.

Prema FAO klasifikaciji na razini velike grupe podzoli se interpretiraju kao «Podzols».

2.4.3. Brunipodzol

Brunipodzoli se razvijaju u istim klimatskim uvjetima i na istim matičnim supstratima kao i podzoli. Prirodnu vegetaciju čine pretežno crnogorične šume, a kod nas se nalaze u Lici i Gorskom kotaru.

Pedogenetski procesi isti su kao i kod podzola. U ekstremno kiselim uvjetima sredine također se razvija organski O ili umbrični humusno akumulativni A horizont izmiješan s eluvijalnim E horizontom. Naime, kod brunipodzola procesi migracije organske i mineralne tvari slabije su izraženi, pa se formira mješoviti A/E horizont. To je zapravo začetak (inicijalni stadij) formiranja podzoliranog eluvijalnog E horizonta. Ispod A/E horizonta nalazi se humusni iluvijalni Bh, a zatim dolazi željezni iluvijalni Bfe horizont.

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija:

Brunipodzoli imaju mješoviti A/E horizont ili nekontinuirani E horizont iza kojeg slijede Bh i Bfe horizonti. Tlo je pjeskovito i ekstremno kiselo (pH mjeren u vodi je ispod 5), a stupanj zasićenosti bazama manji je od 35%.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Prema matičnom supstratu: - na kvarcnom pješčenjaku - na kvarcitu - na rožnjaku - na kiselim eruptivima - na filitu - na pijescima	Prema litičnom kontaktu: - litično - regolitično	Za sve varijetete prema teksturi: - pjeskovito - ilovasto Po sadržaju skeleta na: - slabo skeletno (< 25%) - srednje skeletno (25-50%) - jako skeletno (> 50%)

Fizikalne i kemijske značajke ovog tla su vrlo nepovoljne, kao i kod podzola.

Brunipodzoli su isključivo šumska tla, a prema FAO/UNESCO legendi na razini velike grupe interpretiraju se kao «Podzols».

2.5. Klasa antropogenih tala (P-C sklop profila)

Kod antropogenih tala čovjek je svojom djelatnošću izmijenio njihove prvotne značajke – popravio je značajke tla u cilju postizanja visokih i stabilnih prinosa poljoprivrednih kultura. Antropogena tla iz automorfnog razdjela imaju temeljito izmijenjene fizikalne i kemijske značajke obradom i gnojdbom. Kao rezultat ove aktivnosti pojavljuje se antropogeni P horizont i klasa dobiva P-C sklop profila. Antropogenizirana tla, za razliku od antropogenih, nemaju stubokom izmijenjene značajke i zadržavaju karakteristike na razini tipa te imaju antropogenizirani humusno akumulativni horizont Ap.

U P-C klasu tala izdvojena su dva tipa: rigolano i vrtno tlo.

2.5.1. Rigolano tlo (Rigosol)

Jedna od obveznih agrotehničkih mjera za podizanje voćnjaka i vinograda je duboka obrada plugovima rigolerima na dubinu od 50 do 70 cm. Ponekad se ova mjera primjenjuje i u ratarskoj proizvodnji radi razbijanja nepropusnih horizonata i općenito popravljivanja fizikalnih značajki tla. Ovime se zahvaća i miješa dva ili više horizonata čime se formira potpuno novi antropogeni P horizont. Tlo se i pojačano gnoji organskim gnojivima, fosforom i kalijem, tako da novonastali P horizont ima potpuno izmijenjene i kemijske značajke.

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija:

Rigosoli su antropogena tla iz automorfnog razdjela s antropogenim P horizontom u kojem su potpuno izmijenjene fizikalne i kemijske značajke dva ili više horizonata. P horizont nastao je rigolanjem i ima dubinu najmanje 60 cm.

Ovisno o vrsti biljne proizvodnje izdvojeni su sljedeći podtipovi:

- tlo vinograda (vitisol)
- tlo intenzivnih voćnjaka
- tlo oranica

2.5.2. Vrtno tlo (Hortisol)

Vrtna tla obradom, gnojidbom organskim i mineralnim gnojivima općenito imaju vrlo povoljne fizikalne, kemijske i biološke značajke. Obrazovan je antropogeni P horizont dubine do 35 cm, koji ima sva obilježja černozema.

Definicija:

Hortisoli su tla P-C sklopa profila s antropogenim P horizontom bogatim humusom i hranivima, dubine do 35 cm, te s velikom biološkom aktivnošću. Antropogeni P horizont ima značajke černozema.

2.6. Tehnogeni tla (sklopa profila I, II, III)

Tehnogeni tla nastaju odlaganjem tehnogenog otpada. Izdvojena su dva tipa u okviru tehnoгене klase tala: tla deponija i flotacijski materijali.

2.6.1. Tla deponija (Deposoli)

Deposoli nastaju odlaganjem (deponiranjem) različitih materijala pri zemljanim radovima prvenstveno u niskogradnji.

2.6.2. Flotacijski materijali (Flotisoli)

Flotisoli su tla koja nastaju taloženjem materijala iz otpadnih voda.

3. Razdjel hidromorfni tala

Razdjel hidromorfni tala karakterizira suficitna voda koja se u profilu u dijelu godine zadržava i uvjetuje hidromorfizam.

Ove suficitne vode mogu se podijeliti na:

- oborinske, i
- dodatne.

Oborinske vode slobodno se kroz profil ne procjeđuju već se zadržavaju na nepropusnom horizontu i uvjetuju pseudoglejavanje.

Dodatne vode po svom porijeklu dijele se na poplavne, slivene i podzemne. Bez obzira na njihovo porijeklo, ove vode u dijelu godine stagniraju unutar soluma i uvjetuju oglejavanje.

Prema ruskim iskustvima, duže zadržavanje vode na proizvodnim površinama od 12 sati uvjetuje redukciju prinosa poljoprivrednih kultura – dozvoljeno vrijeme plavljenja. U cilju postizanja visokih i stabilnih prinosa poljoprivrednih kultura, nužno je hidrotehničkim i agrotehničkim mjerama urediti vodni režim tla.

U ovaj se razdjel ubrajaju sljedeće klase tala: nerazvijena tla, pseudoglejna, semiglejna, glejna, tresetna i antropogena hidromorfna.

3.1. Klasa nerazvijenih tala / (A)-C ili (A)-G sklopa profila/

U klasu nerazvijenih tala sklopa profila (A)-G ili (A)-C ubraja se aluvijalno ili fluvijativno tlo kod kojega izostaju razvijeni genetski horizonti, jer pedogenetske procese prekida stalna sedimentacija.

3.1.1. Aluvijalno tlo (Fluvisol)

Aluvijalna tla javljaju se na najnižim reljefskim formama u poplavnim područjima rijeka i potoka, uz more i jezera. Nastaju procesima sedimentacije, pri čemu rijeka od izvora prema ušću odlaže najprije čestice skeleta (kamena i šljunka), a zatim sve sitnije i sitnije kategorije (prah i glina). Ovakvo sedimentiranje materijala nazočno je i okomito na vodotok, ali određena pravilnost postoji i po dubini soluma. Pedogenetski procesi su prekinuti recentnom sedimentacijom, tako da se ne razvijaju genetski horizonti. Ispod inicijalnog (A) horizonta nalaze se slojevi tla različiti po teksturi koji se označavaju rimskim brojevima (I, II, III, itd.). Radi stalnih poplava razvija se (A) horizont.

Podjela na podtipove izvršena je na osnovi nazočnosti karbonata do 40 cm dubine, oglejavanja unutar 150 cm, te zaslanjenosti i alkalizacije. Varijeteti su izdvojeni po dubini do šljunka – aktivni sloj, a forme na osnovi mehaničkog sastava i sadržaja skeleta.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Karbonatno	Za sve podtipove:	Za sve jedinice po teksturi:
Karbonatno oglejeno	- plitko (0-40 cm)	- pjeskovito
Karbonatno oglejeno te zaslanjeno i alkalizirano	- srednje duboko (40-80 cm)	- ilovasto
Nekarbonatno	- duboko (80-120 cm)	- glinasto
Nekarbonatno oglejeno	- vrlo duboko (preko 120 cm)	Po sadržaju skeleta:
Nekarbonatno oglejeno te zaslanjeno i alkalizirano	- aluvijalno s fosilnim tlom	- slabo skeletno (< 25%)
		- srednje skeletno (25-50%)
		- jako skeletno (> 50%)

Fizikalne i kemijske značajke fluvisola uvelike variraju, ovisno o tome u kojem se dijelu vodotoka tlo nalazi. Pri izvoru su to tla s većim sadržajem skeleta, propusna i suha, kemijski inaktivna. Na ušću su glinovita, loših fizikalnih i dobrih kemijskih značajki. Glavni ograničavajući čimbenici u biljnoj proizvodnji su poplavne vode i eventualna nazočnost visoke podzemne vode. Glede toga nužno je fluvisole obraniti od poplava (izgradnja nasipa), a u obzir dolazi i izgradnja kanalske mreže i drenaža. Većina ovih tala lakše je teksture pa nisu neophodne dodatne mjere, kojima se omogućava dotok vode u drensku cijev. Popravak kemijskih značajki tla ovisi o konkretnom slučaju.

3.2. Klasa pseudoglejnih tala (A-Eg-Bg-Cg sklopa profila)

Klasa pseudoglejnih tala vlažena je pretežno suficitnom oborinskom vodom koja, u profilu, u dijelu godine stagnira, uvjetujući pseudooglejavanje. U ovu je klasu izdvojen jedan tip tla – pseudoglej.

3.2.1. Pseudoglej

Ova tla javljaju se na zaravnjenim i blago valovitim reljefskim formama do cca 500 m n.v. Prirodnu vegetaciju čine hrastovo-grabove šume. Klima je semihumidna i humidna, a matični supstrat su pleistocenske ilovine, jezerski sedimenti i riječni aluviji.

Izdvojena su tri *načina* postanka pseudogleja:

- pseudooglejavanje,
- nanošenje stranog materijala na teksturno teži, i
- aluvijalna sedimentacija.

Pseudooglejavanje je vezano uz izmjenu mokre, vlažne i suhe faze. Pseudoglej nastaje iz lesiviranog tla, gdje u mokroj fazi, radi nedostatka kisika, dolazi do redukcijskih procesa. Viševalentni spojevi željeza i mangana prelaze u dvovalentni oblik i postaju topivi. Dolazi do njihove difuzije, a kao rezultat toga pojavljuju se izbljedjele zone oko strukturnih agregata i oko korijena biljke. Povlačenjem vode i prelaskom u vlažnu fazu (sadržaj vlage iznad kapaciteta tla za vodu) ili u suhu fazu (sadržaj vlage ispod točke venuća) prevladavaju procesi oksidacije i reducirani spojevi željeza i mangana prelaze u viševalentni oblik. Ovo se na pedološkom profilu manifestira kroz specifične rdaste mrlje i mazotine, te crne konkreције. Profil dobiva nramorirani izgled i obrazuje se g horizont. Sklop profila je A-Eg-Btg-Cg.

Funkciju nepropusnog horizonta mogu imati slojeviti i teški jezerski sedimenti, pa profil ima građu A-g₁-g₂. Ako je na teksturno teži materijal nanesen lakši, tada je građa profila A-Eg-(g₁)-IIBg – to su dvoslojni profili. Transformacija odumrle organske tvari u opisanim uvjetima ide u pravcu stvaranja ohrićnog humusno akumulativnog A horizonta.

Podtipovi su izdvojeni prema položaju u reljefu, varijeteti po dubini na kojoj se javlja nepropusni horizont, a kemijske značajke bile su kriterij za izdvajanje formi.

Podtip	Varijetet	Forma
Ravničarski (na zaravni)	Plitki (do 25 cm)	Za sve varijetete: - eutrični - distrični
Obronačni	Srednje duboki (25-50 cm)	
	Duboki (50-70 cm)	

Fizikalne značajke tla općenito su loše. Nazočna je diferencijacija pedološkog profila, pa su Eg horizonti lakši po teksturi i nestabilne strukture. Dublji Btg horizont teži je po teksturi, loših vodozračnih odnosa, zbijen i glede toga manja je dubina zakorjenjivanja. Tlo

obiluje česticama praha i prevladava ilitni tip minerala gline. Radi povećanog sadržaja praha sklono je pokorici.

Budući da kod nas prevladavaju distrični pseudogleji, može se konstatirati da su i kemijske značajke nepovoljne. Kod distričnih formi, u gornjem dijelu profila, pH vrijednost mjerena u vodi manja je od 5,5, a stupanj zasićenosti bazama manji je od 50%. Kapacitet adsorpcije manji je od 20 m.molekv. U Bg horizontu pH vrijednost i kapacitet adsorpcije nešto su veći. Kod eutričnih formi, u gornjem dijelu profila, pH mjereno u vodi veći je od 5,5, a stupanj zasićenosti bazama veći je od 50%.

Za postizanje visokih i stabilnih prinosa poljoprivrednih kultura nužne su hidrotehničke i agrotehničke mjere uređenja. U obzir dolazi kombinirana odvodnja (izgradnja kanalske mreže, drenaža, podrivanje, filter materijal). Kod distričnog pseudogleja nužno je regulirati reakciju tla kalcifikacijom, a također je nužna i melioracijska gnojidba fosforom i kalijem.

3.3. Semiglejna tla (A-C-G sklopa profila)

U klasu semiglejnih tala izdvojeno je livadsko-fluvijativno tlo (humofluvisol ili semiglej) s A-C-G sklopom profila.

3.3.1. Semiglej

Kod ovog tipa tla podzemna voda se javlja na većoj dubini od 1 m, tako da u gornjem dijelu pedološkog profila vladaju terestički uvjeti pedogeneze. Semigleji su tla riječnih dolina, a prirodnu vegetaciju čine livade, eventualno i šume.

U ovakvim uvjetima obrazuje se molični ili ohrični humusno akumulativni A horizont. Procesi oglejavanja odvijaju se, kako je rečeno, na većoj dubini od 1 m. Podzemna voda potječe od vodotoka ili je to površinska voda koja stagnira duboko u profilu. U nedostatku kisika, uslijed niskog redoks potencijala, dolazi do redukcijskih procesa. Viševalentni spojevi željeza i mangana prelaze u reducirani oblik. Pojavljuje se plavkasta boja od ferofosfata (vivijanit), zelenkasta od ferohidroksida i crna od željeznih sulfida. Povlačenjem vode povećava se u nazočnosti kisika redoks potencijal i dolazi do oksidacije manganovih i željeznih spojeva, koji prelaze u viševalentni oblik. Ovo se manifestira kao rdastosmede mrlje i konkreције. Obrazuje se Gso podhorizont ispod kojeg je zona stalne saturacije podzemne vode u kojoj prevladavaju redukcijski procesi – Gr podhorizont. Pedološki profil dobiva sklop profila A-AC-Gso-Gr.

Podtipovi su izdvojeni na osnovi dubine oglejavanja, a varijeteti prema sadržaju karbonata do 40 cm dubine te prema zaslanjenosti i alkalizaciji. Tekstura je bila kriterij za izdvajanje formi.

Podtip	Varijetet	Forma
Plitko oglejeno (G 100-150 cm)	Karbonatno	Za sve varijetete po teksturi: - pjeskovito - ilovasto - glinasto
Srednje duboko oglejeno (G od 150-200 cm)	Karbonatno zaslanjeno i alkalizirano	
Duboko oglejeno (G dublji od 200 cm)	Nekarbonatno	
	Nekarbonatno zaslanjeno i alkalizirano	

U načelu fizikalne i kemijske značajke ovog tla vrlo su povoljne. Uglavnom su to tla dobre strukture, povoljnih vodo zračnih i toplinskih odnosa. Tlo sadrži 3-5% humusa i dobro je opskrbljeno hranivima. Reakcija tla je neutralna ili slabo bazična.

Mjere popravka ovog tla nisu nužne. Redovnom agrotehnikom i gnojdbom postižu se stabilni i visoki prinosi poljoprivrednih kultura. Iz hidromorfnog razdjela semigleji su najkvalitetnija poljoprivredna tla. Po svojim značajkama vrlo su blizu černozemima i rendzinama.

Semigleji se prema FAO klasifikaciji na razini velike grupe interpretiraju kao «Fluvisols».

3.4. Glejna tla (A-G sklopa profila)

Klasu glejnih tala karakterizira oglejavanje – pojava glejnog G horizonta unutar 1 m pedološkog profila. U ovu klasu izdvojena su tri tipa tla: pseudoglej-glej, ritska crnica i močvarno glejno.

3.4.1. Pseudoglej-glej

Pseudoglej-glej karakterizira u gornjem dijelu pedološkog profila pseudooglejavanje, a unutar jednog metra ispod Btg horizonta javlja se glejni G horizont, najprije Gso, a zatim Gr podhorizont (Bašić, 1982.). Tlo se javlja na nižim reljefskim formama u dolinama rijeka i izmjenjuje se s močvarno glejnim tлом. Karakterizira ga močvarna vegetacija. Razvija se na aluvijalnim nanosima i pleistocenskim ilovinama – lesu.

U proizvodno ekološkom smislu tlo je općenito skromne plodnosti. Nepovoljnih je vodo zračnih i toplinskih odnosa, a kemijske značajke također su nepovoljne.

Za privođenje tla kulturi nužno je provesti melioracije. U obzir dolazi kombinirana odvodnja, koja obuhvaća uređenje vodozračnog režima. Nužno je također provesti i kemijske melioracije (kalcifikacija, melioracijske doze fosfora i kalija).

Prema FAO/UNESCO legendi pseudoglej-glej na razini podgrupe odgovara pojmu «Gleyic podzoluvisols».

3.4.2. Ritska crnica (Humoglej)

Ritske crnice nalaze se u istočnom dijelu naše zemlje (Baranja) u uvjetima aridne ili semiaridne klime. Tlo je smješteno na najnižim reljefskim formama i izloženo poplavnim vodama. Matični supstrati na kojima se razvija ritska crnica su aluvijalni nanosi, pretaloženi les i colski pijesci. Prirodnu vegetaciju čine hidrofilne i mezofilne travne biljne zajednice, topole i vrbe – ritovi. Tlo je i dobilo naziv po specifičnoj barskoj vegetaciji – ritska crnica, a u literaturi vrlo često je u uporabi i naziv hidrogena crnica ili humoglej.

Podzemna voda kod ritskih crnica uvelike oscilira tako da se ona u dijelu godine spušta i ispod 1 m dubine. Tek na cca 1,5 m dubine javlja se zona stalne stagnacije podzemne vode. Po ranije opisanom mehanizmu oglejavanja formira se duboki Gso podhorizont, a na dubini od 1,5 m gdje prevladavaju redukcijски procesi nalazi se Gr podhorizont.

Transformacija odumrle organske tvari ide u pravcu stvaranja molično-akvatičnog humusno akumulativnog A horizonta specifične tamne boje i dubljeg od 50 cm. Tvorba ovog hidromorfno humusa odvija se u dvije faze:

- u mokrom, i
- suhom periodu.

Molični hidromorfni humusno akumulativni A horizont tvori se uslijed anaerbnih uvjeta u mokrom periodu te uslijed suhih uvjeta kada se voda spusti na veću dubinu.

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija:

Ritske crnice su tla s moličnim akvatičnim humusno akumulativnim A horizontom specifične tamne boje dubljim od 50 cm, nakon kojeg slijedi duboki Gso podhorizont, a tek na dubini od cca 1,5 m nalazi se Gr podhorizont. Amplituda oscilacije podzemne vode je od površine, a može biti i dublja od 1,5 m. Sklop profila je Amo,a – Gso – Gr.

Podtipovi su izdvojeni na osnovi nazočnosti karbonata u Amo,a horizontu i vertičnosti, a varijeteti prema stupnju zaslanjenosti i alkalizacije. Mehanički sastav bio je kriterij za izdvajanje formi.

Niže se daju podtipovi, varijeteti i forme.

Podtip	Varijetet	Forma
Karbonatna Nekarbonatna Karbonatno vertična Nekarbonatno vertična	Za sve podtipove prema stupnju zaslanjenosti: - slabo zaslanjena (0,25-0,50% soli) - umjereno zaslanjena (0,50-0,70% soli) - jako zaslanjena (0,70-1,00% soli) Prema stupnju alkalizacije: - slabo alkalizirana (7-15% adsorbiranog Na) - srednje alkalizirana (15-40% adsorbiranog Na) - jako alkalizirana (preko 40% adsorbiranog Na)	Za sve varijetete karbonatnog i nekarbonatnog podtipa po teksturi: - pjeskovita - ilovasta - glinasta

Fizikalne i kemijske značajke ritske crnice uvelike variraju ovisno o nižoj taksonomskoj jedinici od tipa.

Količina humusa kreće se od 3 do 6%, a glinaste forme imaju ga i 8%. Nekarbonatno tlo ima pH u vodi između 6 i 7, karbonatno 7 do 8,5, a alkalizirane više od 8,5. Stupanj zasićenosti bazama je visok, a kapacitet adsorpcije kreće se od 30 do 40 m.mol.ekv.

Ritske crnice većinom su težeg mehaničkog sastava i vertične. Glede toga vertične crnice imaju nepovoljne vodo zračne i toplinske odnose. Manji je dio ovih tala povoljnih fizikalnih značajki.

Intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju nije moguće organizirati bez hidrotehničkih zahvata. Nužno je ritske crnice obraniti od poplava nasipima, a zatim i spustiti razinu podzemne vode izgradnjom kanalske mreže i postavljanjem drenaže. Kako je veliki dio ovih tala vertičan bit će nužne dodatne mjere (krtičenje i uporaba filter materijala). U obzir nadalje u proizvodnji dolazi redovna gnojidba mineralnim gnojivima.

Ritska crnica prema FAO klasifikaciji interpretira se kao «Mollic gleysols».

3.4.3. Močvarno glejno tlo (Euglej)

Močvarno glejno tlo javlja se na najnižim reljefskim formama i izloženo je suficitnim površinskim poplavnim vodama i podzemnim koje u profilu stagniraju i uvjetuju oglejavanje unutar 1 m profila. Prirodnu vegetaciju čine hidrofilne šume i hidrofilne travne biljne formacije. Najveći dio ovih tala nalazi se na aluvijalnim sedimentima u riječnim dolinama. Tlo ima hidromorfni humus.

S obzirom na način vlaženja izdvojena su tri podtipa: hipoglej, amfiglej i epiglej. Hipoglej ima problem sa suficitnom podzemnom vodom, koja se u dijelu godine diže do same površine. U najnižem dijelu pedološkog profila je područje stagnacije podzemne vode, gdje se radi redukcijskih procesa formira Gr podhorizont. Iznad Gr-a nalazi se zona povremenog prevlaživanja, pa se obrazuje Gso podhorizont.

Sklop profila unutar 1 m dubine je Aa – Gso – Gr.

Kod amfigleja problem predstavljaju suficitne površinske i podzemne vode. Voda stagnira u gornjem i u donjem dijelu pedološkog profila i tu se formiraju Gr podhorizonti. Na mjestu gdje se ove vode sučeljavaju obrazuje se Gso podhorizont. Sklop profila unutar 1 m je Aa – Gr – Gso – Gr.

Epiglej ima problem sa suficitnim površinskim vodama, koje odozgo stagniraju i formira se Gr podhorizont ispod kojeg se nalazi Gso podhorizont. Sklop profila unutar 1 m je Aa-Gr-Gso.

U uvjetima prekomjernog vlaženja tvori se, kako je ranije rečeno, hidromorfni ili močvarno-barski humus kojeg može biti do 30%, ali je plići od 50 cm.

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija:

Močvarno glejno tlo (euglej) ima akvatični humusno akumulativni Aa horizont, koji je plići od 50 cm, a nakon njega slijedi glejni G horizont.

Varijeteti su izdvojeni na osnovi količine humusa, a forme za hipoglej prema nazočnosti karbonata do 40 cm dubine, te zaslanjenosti i alkalizaciji. Kriterij za izdvajanje formi kod amfigleja i epigleja, uz navedeno, bila je i vertičnost.

Podtipovi, varijeteti i forme daju se niže:

Podtip	Varijetet	Forma
Hipoglejno	Za sve podtipove: - mineralno - humozno - tresetno-glejno (T do 30 cm)	Karbonatno
		Nekarbonatno
		Karbonatno zaslanjeno i alkalizirano
		Nekarbonatno zaslanjeno i alkalizirano
Epiglejno		Karbonatno
		Karbonatno vertično
		Nekarbonatno
		Nekarbonatno vertično
Amfiglejno		Karbonatno
		Karbonatno vertično
		Nekarbonatno
		Nekarbonatno vertično

Fizikalne i kemijske značajke ovih tala su raznolike. Većina močvarno glejnih tala težeg je mehaničkog sastava i općenito loših vodo zračnih i toplinskih odnosa. Uz to amfigleji i epigleji mogu sadržati i više od 30% smektitnog tipa gline – vertični su. Hipogleji mogu biti i teksturno lakši i glede toga povoljnijih fizikalnih značajki.

Količina humusa kreće se od 1 do 30%, a kako tlo može biti karbonatno i nekarbonatno reakcija tla i stupanj zasićenosti bazama uvelike variraju.

Za privođenje tla kulturi nužne su hidro i agrotehničke melioracije.

Kod hipogleja se izgrađuje kanalska mreža i polažu drenске cijevi. Najčešće nisu potrebne dodatne mjere, eventualno u obzir dolazi podrivanje (< 30 % gline).

Amfigleje je nužno obraniti od poplavnih voda i riješiti nepovoljni vodni režim tla. Izgrađuje se kanalska mreža, izvodi cijevna drenaža, ugrađuje filter materijal i provodi se krtičenje kod vertičnog amfigleja. Epiglej je također nužno obraniti od poplavnih voda, a druge mjere uređenja iste su kao i kod amfigleja.

Kako su kemijske značajke eugleja neujednačene potreba za kemijskim melioracijama ovisit će o konkretnom slučaju.

Prema FAO klasifikaciji eugleji se na razini velike grupe interpretiraju kao «Gleysols».

3.5. Tresetna tla (T – G sklopa profila) (Histosoli)

Histosole karakterizira tresetni T horizont , koji je dublji od 30 cm. Slabo razgrađene organske tvari u odnosu na euglej može biti više od 30 %. U Hrvatskoj tresetnih tala ima vrlo malo (Neretljansko blato, Livanjsko polje). Pojavljuju se na najnižim reljefskim formama u uvjetima trajnog prevlaživanja podzemnom i poplavnom vodom. U takvim anaerobnim uvjetima nagomilava se slabo razgrađena organska tvar dubine i do desetak metara.

Uvjeti za nagomilavanje treseta postoje i u visokim planinama na ekstremno kiselim matičnim supstratima, gdje prirodnu vegetaciju čini mah tresetar. Odumrli ostaci mahovine slabo se razgrađuju i obrazuje se T horizont. Prema mjestu postanka izdvojeni su tipovi: niski, visoki i prelazni treseti.

Nakupljena organska tvar različitog je stupnja razgrađenosti i starosti, pa je moguće izdvojiti više tresetnih horizonata što se označava rimskim brojevima IT, IIT, IIIT, itd.

Kvaliteta organske tvari je različita. Fizikalne značajke su ujednačene, a kemijske raznolike.

Ukupna poroznost ovih tala je velika, volumna gustoća je malena ($0,1 \text{ g/cm}^3$), a upijanje i zadržavanje vode je znatno.

Količina organske tvari veća je od 30%. Izdignuti treseti imaju 70-95% organske tvari, ekstremno su siromašni bazama s pH mjerenim u vodi ispod 4. Nepovoljan je C:N odnos koji je širi od 25:1. Količina organske tvari manja je kod niskih treseta i kreće se između 50 i 70%. Kapacitet adsorpcije je visok, kao i stupanj zasićenosti bazama. Niski treseti uglavnom su bogato opskrbljeni hranivima.

Podtipovi su izdvojeni na osnovi debljine tresetnog T horizonta za sve tipove:

- plitki (30 – 50 cm)
- srednje duboki (50 – 100 cm)
- duboki (> 100 cm).

Na osnovi stupnja razgrađenosti organske tvari izdvojeni su varijeteti:

- slabo humificirani (humificirano manje od 1/3 organske tvari)
- srednje humificirani (1/3 – 2/3 organske tvari humificirano)
- jako humificirani (humificirano više od 2/3 organske tvari).

Forme su izdvojene na osnovi opskrbljenosti hranivima s time da su niski i prelazni treseti uglavnom eutrofni, a visoki oligotrofni.

Ključna mjera za privođenje treseta kulturi je odvodnja, a nakon toga slijedi duboka obrada.

Treseti se prema FAO klasifikaciji na razini velike grupe interpretiraju kao «Histosols».

3.6. Antropogena hidromorfna tla (P-G sklopa profila)

Hidrotehničkim i agrotehničkim zahvatima, te kemijskim melioracijama temeljito su izmjenjene prvotne tipske značajke tla. U aktivnom dijelu pedološkog profila prevladavaju terestički uvjeti i tlo dobiva P-G sklop profila. Izdvojena su dva tipa tla: hidromeliorirano i rigolano tresetno tlo.

3.6.1. Hidromeliorirano tlo

Hidromeliorirano tlo obranjeno je od poplava, snižena je razina podzemne vode igradnjom kanalske mreže i drenaže. Provedeni su i odgovarajući agrotehnički zahvati, te eventualno i kemijske melioracije. Izmijenjen je prvotni vodni režim i u tlu u prvih 1 m profila vladaju terestički uvjeti kao kod semigleja. Tla su na ovakav način uređena za intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju.

Prema FAO klasifikaciji na razini velike grupe hidromeliorirano tlo odgovara pojmu «Anthrosols».

3.6.2. Rigolano tresetno tlo

Tresetni T horizont kod tresetno-glejnog tla i treseta duboko se obrađuje, pri čemu se miješaju T i G horizonti. Prvotno je nužno provesti hidromelioracije, odnosno spustiti razinu podzemne vode. Tlo dobiva potpuno nove značajke i sklop profila P-G.

Prema FAO/UNESCO legendi rigolano tresetno tlo interpretira se kao «Anthrosols».

4. Halomorfna tla

Razdjel halomorfnih tala karakterizira suficitno vlaženje podzemnom ili/i površinskom vodom koje su zaslanjene ili/i alkalizirane.

U ovaj su razdjel izdvojene dvije klase:

- akutno zaslanjena tla, i
- soloneci.

4.1. Klasa akutno zaslanjenih tala (Asa-G ili Asa-CG sklopa profila)

U klasu akutno zaslanjenih tala, odnosno tala koja imaju više od 1% klorida i sulfata, te više od 0,7% sode unutar 125 cm od površine izdvojen je jedan tip tla – solončak.

4.1.1. Solončak

Solončaci se pretežno javljaju u istočnom dijelu naše zemlje u aridnijim klimatskim prilikama, a ima ih i uz more (dolina rijeke Neretve). Razvijaju se na eolskim, jezerskim, riječnim i morskim sedimentima obogaćenim lakotopivim solima.

U dijelu godine zaslanjene podzemne vode obogaćene kloridima, sulfatima i sodom dižu se do same površine tla. Isparavanjem vode dolazi do nagomilavanja soli i na površini tla se ove soli javljaju u obliku eflorescencija ili iscjetanja. U vlažnijem dijelu godine dio se soli ispire, ali kod solončaka prevladava tendencija njihove akumulacije. Osim ovog izdanskog zaslanjivanja moguće je da se soli u profilu akumuliraju još na nekoliko načina: poplavnim vodama (aluvijalna salinizacija), slivenim vodama (koluvijalna salinizacija), te vjetrom (eolska salinizacija). Ako je čovjek prouzročio zaslanjivanje tla navodnjavanjem nekvalitetnom vodom tada se radi o sekundarnoj salinizaciji.

Humusno akumulativni horizont obrazuje se iz halofita i označava se Asa. Sklop profila je, kako je ranije rečeno Asa-CG ili Asa-G.

Podtipovi su izdvojeni prema vrsti soli, varijeteti na osnovi gornje granice salinizacije, a forme prema modifikaciji humusno akumulativnog Asa horizonta i vertičnosti.

Podtip	Varijetet	Forma
Sodni	Površinski zaslanjen (0-30 cm)	Za sve varijetete: - ohrični - molični - vertični
Sulfatni	Srednje duboko zaslanjen	
Kloridni	(30-80 cm)	
Sodno-sulfatni	Duboko zaslanjen (80-125 cm)	
Sulfatno-sodni		
Sodno-kloridni		
Kloridno-sodni		
Sulfatno-kloridni		
Kloridno-sulfatni		
Mješoviti s 3 soli		

Fizikalne i kemijske značajke solončaka općenito su nepovoljne. Tekstura je uglavnom teža, nepovoljni su vodo zračni odnosi i slaba je propusnost. Reakcija tla mjerena u vodi može biti ekstremno visoka i kreće se od 7 do 11. Samo mali broj poljoprivrednih kultura podnosi alkalnu reakciju – halofiti (kamilica).

Za privođenje tla kulturi nužno je:

- sniziti razinu podzemne vode na 2,5 do 3 m izgradnjom kanalske mreže i drenaže,
- povećanim obrocima navodnjavanja isprati lakotopive soli,
- visoka reakcija tla regulira se zakiseljavanjem (uporaba gipsa).

Prema FAO klasifikaciji na razini velike grupe solončaci se interpretiraju kao «Solonchaks».

4.2. Solonec (ujedno klasa i tip)

Soloneci su alkalna tla, kod kojih osnovni problem predstavlja natrij u adsorpcijskom kompleksu tla, kojeg ima više od 15%. Tlo sadrži male količine lakotopivih soli od 0,15 do 0,25%.

Radi nazočnosti natrija u adsorpcijskom kompleksu ekstremno je visoka reakcija tla (pH mjeren u vodi od 9-11). Uslijed toga dolazi do peptizacije koloida tla, ispiranja humusa i razaranja mineralnog dijela tla. Iz površinskog dijela profila ispire se glina, humus u obliku natrijevih humata i peptizirani zoli aluminijskih i silicijevih hidroksida. Formira se humusno akumulativni A horizont, koji je ujedno i eluvijalni, te natrični B_{tna} horizont. Tlo dobiva sklop profila A – B_{tna} – C. Humusno akumulativni A horizont je ohrični ili molični.

Iz izloženoga proizlazi sljedeća definicija:

Soloneci su alkalna tla s moličnim ili ohričnim humusno akumulativnim horizontom koji je ujedno i eluvijalni horizont. U iluvijalnom B_{tna} horizontu ima više od 15% natrija na adsorpcijskom kompleksu. Struktura je prizmatična ili stubasta.

Izdvojeni su sljedeći podtipovi, varijeteti i forme:

Podtip	Varijetet	Forma
Solonec – solončak	Nezasoljeni	Za sve varijetete prema dubini pojave B _{tna} horizonta: - plitki (do 7 cm) - srednje duboki (7-15 cm) - duboki (preko 15 cm)
Tipični	Sodni	
Molični	Sulfatno-sodni	
Luvični	Kloridno-sodni	
	Kloridno-sulfatni	
	Sulfatno-kloridni	
	Sulfatni	
	Kloridni	
Pseudoglejni	Tipični	
	Glosični	

Fizikalne i kemijske značajke općenito su nepovoljne. Struktura tla je stubasta ili prizmatična. Vodo zračni odnosi su nepovoljni. Humusno akumulativni A horizont je lakši po teksturi, a iluvijalni B_{tna} je glinovit. U vlažnom stanju radi nazočnosti natrija i peptizacije koloida tlo je blatna masa, a u suhom je zbijeno i tvrdo. Glede toga ekološka dubina tla je mala.

Kemijske značajke tla, kao što je naglašeno, također su nepovoljne. Humusno akumulativni A horizont je neutralne reakcije, a iluvijalni B_{tna} horizont ima alkalnu reakciju.

Za privođenje tla kulturi nužno je popraviti nepovoljnu stratigrafiju dubokom obradom, a u obzir dolazi gipsanje i ispiranje soli povećanim obrocima navodnjavanja.

Prema FAO klasifikaciji na razini velike grupe soloneci odgovaraju pojmu «Solonetz».

5. Razdjel subakvalnih tala

Subakvalna (subhidrična) tla obrazuju se ispod voda stajaćica. Izdvojene su tri klase: nerazvijena, razvijena s humusno akumulativnim horizontom i antropogena. U nerazvijena subhidrična tla s (A) podvodnim sirozemnim humusom izdvojen je jedan tip protopedon – (A) – C ili (A) - G građe profila.

Gitja, daj i sapropel imaju razvijeni humusno akumulativni A horizont. Ubrajaju se u klasu razvijenih subakvalnih tala građe profila A – C ili A – G.

Nakon odvodnje gitja i sapropel prelaze u terestičke uvjete i mogu biti uključeni u poljoprivrednu proizvodnju (antropogena klasa).

Prilog: Neke sistematske jedinice tla – slike



Slika 1. Koluvijalno tlo s prevagom zemljišnog materijala Slika 2. Rendzina na trošini dolomita



Slika 3. Lesivirano pseudoglejno



Slika 4. Pseudoglej obronačni eutrični



Slika 5. Močvarno glejno hipoglejno

POPRAVAK TLA

6. ODABRANO POGLAVLJE IZ HIDROLOGIJE

Znanost koja proučava značajke, vrste i kretanje vode kao i pojave na vodama u prirodi naziva se *hidrologija*.

Voda se nalazi u atmosferi, na površini zemlje i ispod površine zemlje. Na temelju praćenja hidroloških pojava hidrologija donosi praktične zaključke u cilju boljeg gospodarenja vodom.

Vode u prirodi najčešće se dijele na:

- atmosferske,
- površinske, i
- podzemne.

6.1. Atmosferske vode

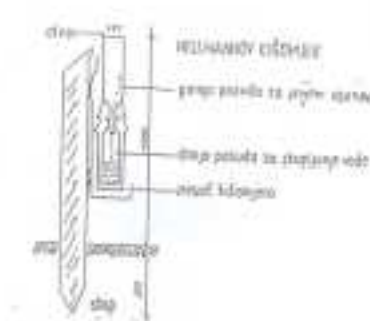
Sva voda koja se nalazi na Zemljinoj površini (jezera, rijeke i slično), potječe od atmosferske vode (javlja se u obliku kiše, snijega, inja, rose, itd). Atmosferska voda nastaje kondenzacijom vodene pare koja se diže iznad rijeka, mora i drugih vodenih površina. Uzrok kondenzacije vodene pare je rashlađivanje zraka zasićenog vodenom parom kojeg zračne struje dižu u visinu ili potiskuju preko planina.

Osnovni elementi oborina:

- količina oborina,
- trajanje oborina,
- intezitet oborina, i
- učestalost oborina.

Količina oborina (visina kišnog taloga)

Za hidrotehničke radove od naročitog je značaja količina vode koja za određeno vremensko razdoblje padne na neku površinu. Da bi se odredila ova količina vode, vrši se mjerenje visine kišnog taloga. Pod kišnim se talogom podrazumijeva ona visina vodenog sloja (mm) do koje bi taj talog pokrio horizontalnu površinu tla kada ne bi bilo isparavanja, poniranja i otjecanja vode. Za mjerenje količine oborina, uglavnom kiše i vode od otopljenog snijega, služe kišomjeri (obični i automatski). Slika 6. prikazuje Hellmanov kišomjer.



Slika 6. Hellmanov kišomjer

Trajanje oborina (T)

Trajanje oborina predstavlja vremensko razdoblje u kojem se neprekidno javljaju oborine. Izražava se u minutama, satima ili danima.

Intenzitet oborina (i)

Intenzitet oborina predstavlja kvocijent visine kišnog taloga (h) i trajanja oborina (T)

$$i = h/T \text{ (mm/min ili mm/h)}$$

Učestalost oborina

Učestalost oborina predstavlja njihovu pojavu u odnosu na vrijeme (npr. proučava se učestalost broja dana u godinama u kojima se pojavljuje oborina određenog intenziteta). U melioracijskoj praksi treba poznavati učestalost jakih kiša na nekom području, jer se na temelju ovih podataka vrše dimenzioniranja raznih hidrotehničkih objekata (kanala, brana, preljeva, nasipa, itd.).

6.2. Površinske vode

Od ukupnih voda koje padnu na Zemljinu površinu jedan dio ispari, drugi ponire u tlo, a treći ostaje na površini kao površinske vode. Ove vode obično se dalje dijele na:

- vode površinskog otjecanja,
- tekuće vode, i
- stajajuće vode.

Vode površinskog otjecanja

Kod voda površinskog otjecanja značajno je poznavati mehanizam njihovog formiranja, što je od velikog značaja za proračun maksimalne vode koja se može u datim uvjetima pojaviti u određenoj točki sliva u jedinici vremena. Postanak, veličina i brzina površinskog otjecanja ovisi o klimatskim, pedološkim, biološkim, agrotehničkim i reljefskim čimbenicima.

Za potrebe projektiranja hidromelioracijskih sustava odvodnje nužno je poznavati slijedeće elemente:

- koeficijent otjecanja,
- modul otjecanja, i
- maksimalnu koncentraciju (količinu) otjecanja.

Koeficijent otjecanja (Ko), predstavlja odnos ukupnog otjecanja s nekog područja i ukupnih oborina u nekom vremenskom intervalu (koliko je vode oteklo po površini u odnosu na ukupnu količinu oborina).

$$Ko = \frac{O}{P} < 1 \quad \text{gdje su:}$$

Ko- koeficijent otjecanja

O- ukupno otjecanje

P- ukupne oborine

Ko ovisi o značajkama tla, nagibu terena, obraslosti terena i dr.

Modul otjecanja (specifični dotok ili specifično površinsko otjecanje)-q, predstavlja maksimalnu količinu vode koja se slije s jedinice površine u jedinici vremena.

$$q = \frac{Q}{F} \text{ gdje su:}$$

q-modul otjecanja (l/s/ha)

Q-sekundni otjecaj cijelog sliva (l/s)

F-površina sliva (ha)

Za proračun modula otjecanja (q) postoje brojne formule. Kao primjer daje se jednačba po Belli, koja važi za $F > 15 \text{ km}^2$.

$$q = L \times H \left(20 + 2I + \frac{1000}{F} \right) \text{ (l/s/km}^2\text{) gdje su:}$$

L- koeficijent propusnosti tla

H- suma godišnjih oborina (m)

I- relativni pad terena (cm/km)

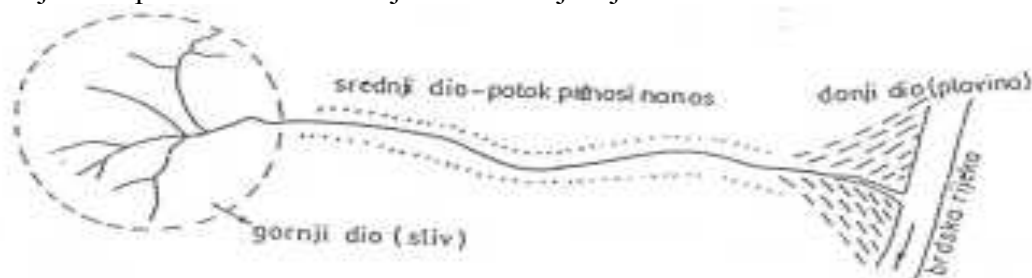
F- površina sliva (km^2)

Maksimalna koncentracija (količina) vode (Q) ili sekundni otjecaj cijelog sliva je količina vode koja se može maksimalno očekivati u određenoj točki sliva, pod određenim uvjetima u nekom vremenu (t).

$$Q_{\max} = F \times q \text{ (l/s; m}^3\text{/s)}$$

Tekuće vode

Tekuće vode nastaju nakupljanjem (koncentracijom) voda površinskog otjecanja, te njihovim pretvaranjem u bujice, potočiće, potoke i rijeke. Na taj se način stvaraju vodeni tokovi. Svaki vodeni tok (vodotok) ima svoj sliv (slika 7). Pod slivom ili slivnim područjem podrazumijeva se površina terena s koje se vode slijevaju u neki vodotok.



Slika 7. Slivno područje

Sliv ima sljedeća obilježja:

- geometrijske (površina, dužina, širina)
- fizičko-geografske (položaj, geološki sastav, klimatska obilježja, biološki svijet i dr.)
- umjetne (nastale djelovanjem čovjeka)

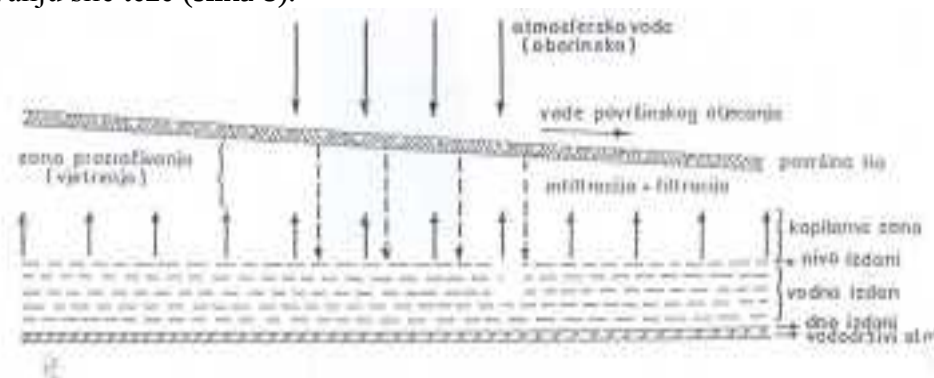
Slivove možemo dijeliti prema: veličini, obraslosti, nagnutosti, značajkama tla i obliku.

Stajaće vode

U stajaće vode ubrajaju se: jezera, bare, lokve, umjetne akumulacije. Ove se vode koriste u svrhu navodnjavanja kao izvor vode ili služe kao glavni recipijent (vodoprijemnik) u koji se odvođe suvišne vode prilikom odvodnje nekog područja.

6.3. Podzemne vode

Pod podzemnom vodom u širem smislu podrazumijevaju se sve vode u litosferi. Međutim, često se u hidrologiji pod ovim nazivom podrazumijeva samo slobodna voda, koja podliježe djelovanju sile teže (slika 8).



Slika 8. Formiranje podzemne vode

Razlikujemo:

- vodonosni sloj – sloj koji omogućuje filtraciju vode
- vododrživi sloj – nepropusni sloj, na kojem voda stagnira
- vodna izdani – sloj tla koji je potpuno zasićen vodom
- razina izdani – gornja površina izdani
- dna izdani – donja površina izdani
- dubina izdani – visinska razlika između razine i dna izdani

Obično se u melioracijama podzemne vode, bez obzira na podrijetlo, dijele prema maksimalnoj visini kapilarnog uspona na:

- vrlo plitke (povremeno sežu do same površine tla)
- plitke (povremeno sežu do cca 0,5 m od površine tla)
- srednje duboke (povremeno sežu do cca 1,0 m od površine tla)
- vrlo duboke (povremeno sežu do cca 2,0 m od površine tla)

7. ODABRANO POGLAVLJE IZ HIDROPEDOLOGIJE

Hidropedologija je znanost koja proučava vodu u tlu, odnosno vrste vode u tlu i njezino gibanje.

7.1. Voda u tlu

Voda ima značajnu ulogu u životu biljaka i za procese u tlu. Može se s pravom reći da bez vode ne bi bilo života. Biljke trebaju velike količine vode za svoje procese, a usvajaju je iz tla svojim korijenjem. S vodom biljka upija i otopljene hranjive tvari, tako da voda osim biokemijskih funkcija transportira i hranjive tvari kroz biljku. U tlu se pomoću vode tvore i razgrađuju mineralne i organske tvari i odvijaju se brojni mikrobiološki procesi, koji sudjeluju u procesima tvorbe tla.

7.1.2. Vrste vode u tlu

U tlu se voda pojavljuje u više oblika. Postoji više klasifikacija po kojima se ona dijeli, odnosno naziva. Ipak, najčešće se u hidropedologiji voda tla dijeli na: kemijsku, higroskopnu, opnenu (filmsku), kapilarnu i gravitacijsku (cijednu).

Kemijska voda je vezana u kristalnoj mreži minerala i sastavni je dio spojeva u tlu. Biljke kemijski vezanu vodu ne mogu koristiti.

Higroskopna voda je također nekorisna za biljke. Molekule vode čvrsto su vezane molekularnim silama za čestice tla, koje odgovaraju tlaku od 3 MPa (30 bara) pa i većem od 500 MPa.

Opnena (filmska) voda obavlja čestice tla o obliku tanje ili deblje opne. Sila, kojom čestice tla privlače i drže vodu, slabi povećanjem debljine vodene opne. Na mjestu prijelaza higroskopne vode u opnenu, njezina sila držanja odgovara tlaku od oko 3 MPa, a na periferiji opne sila držanja odgovara tlaku od oko 0.3 MPa-0.4 MPa. Prema tome, ova je voda samo djelomično korisna za biljke. Opnena voda se vrlo sporo giba, od čestica deblje prema čestici tanje opne djelovanjem adsorpcijskih sila.

Ako se količina vode u tlu povećava iznad količine opnene vode, ne povećavaju se opne oko čestica tla, nego ta slabije vezana voda popunjava pore u tlu.

Kapilarna voda drži se u kapilarnim porama silama površinske napetosti. Ta se voda giba u svim smjerovima. U sitnijim porama može doseći veću daljinu, a brzina gibanja je veća u krupnijim porama. Kapilarna se voda u tlu drži silama koje odgovaraju tlaku od oko 0.3 MPa – 0.6 MPa. To je razlog da biljke mogu lako koristiti ovu vodu. Zbog toga je kapilarna voda najkorisnija za uzgoj biljaka.

Gravitacijska ili cijedna voda je slobodna voda koja se zadržava u tlu. Ta se voda giba kroz krupne nekapilarne pore pod utjecajem sile teže. Pojavljuje se nakon obilnijih oborina i prekomjernog vlaženja tla navodnjavanjem. Biljke je mogu koristiti samo dok je na prolazu kroz rizosferu. Ako ova voda pri cijedenju kroz tlo nailazi na slabije propustan sloj, nastaje suvišna stagnirajuća voda. Ukoliko naiđe na nepropustan sloj tla, stvara se podzemna voda.

7.1.3. Energetski odnosi tla i vode

Svako je tlo sposobno primiti i propuštati vodu, odnosno zadržati određenu količinu vode. Tlo u prirodi nije nikada apsolutno suho. U najgorem slučaju, u tlu se može nalaziti barem jedan dio higroskopne vode ili stanovita količina vode u obliku vodene pare, a najčešće je prisutna i voda u tekućem obliku. Najveća količina vode koju tlo može primiti odgovara vrijednosti njegovih ukupnih pora (maksimalni kapacitet tla za vodu). Energija kojom se voda drži u tlu u vezi je s prisutnom količinom vode. Sila držanja vode može se izraziti u barima (stupac vode od 1000 cm odgovara aproksimativno tlaku od 1 bara). Uz to se koristi i Scofieldov pF broj (logaritam stupca vode izraženog u cm), a prema SI sustavu mjernih jedinica koristi se Paskal (Pa). Vodenom stupcu od 1 cm odgovara tlak od oko 100 Pa ($1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa}$).

7.1.4. Vodne (hidropedološke) konstante

Vodne konstante predstavljaju sadržaj vode u tlu u određenim uvjetima, kojima se količina može odrediti. To su ravnotežna stanja između sisajuće sile tla i vode. Za reguliranje vodnog režima u tlu najvažnije su sljedeće vodne konstante:

- vlažnost (točka) venuća,
- lentokapilarna vlažnost,
- kapacitet tla za vodu (poljski, apsolutni, retencijski, minimalni), i
- maksimalni kapacitet tla za vodu

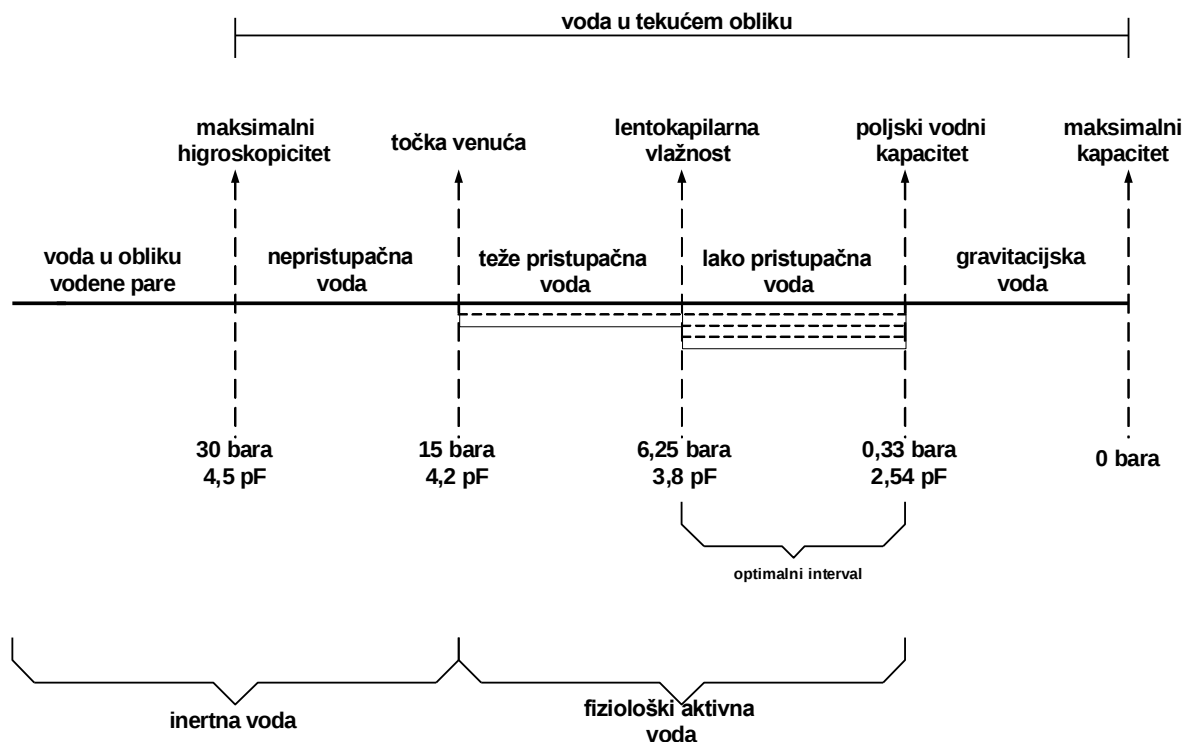
Vlažnost venuća je količina vode u tlu pri kojoj biljka počinje venuti. To je stanje kada korijenje u tlu nema na raspolaganju dovoljno vode za održavanje fizioloških procesa. Korijen biljke ima usisnu silu koja odgovara tlaku od oko 1.5 MPa, odnosno 15 bara (4.2 pF), pa ako sila zadržavanja vode u tlu dosegne tu vrijednost, biljka počne venuti. Vlažnost tla mora se održavati tako da se količina vode u tlu nikada ne spusti do vlažnosti venuća. Takvo stanje vrlo nepovoljno djeluje na prinose, čak i ako vlažnost venuća ostane kraće vrijeme, biljka može uvenuti.

Lentokapilarna vlažnost je količina vode koju tlo drži silom, što odgovara tlaku od 0.625 MPa ili 6.25 ba (pF 3.8). Tada se voda u tlu počinje gibati. Ova vodna konstanta iznosi 60-70 % vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta. Lentokapilarna vlažnost je važna za navodnjavanje, jer se uzima da je to donja granica optimalne vlažnosti, odnosno početka navodnjavanja.

Poljski vodni kapacitet je količina vode koju tlo u prirodnim uvjetima, nakon obilnog vlaženja i poslije gravitacijskog procjeđivanja, može maksimalno zadržati. Kad je dostignuta vrijednost poljskog vodnog kapaciteta, voda se više ne procjeđuje kroz tlo. Drži se da je poljski vodni kapacitet gornja granica optimalne vlažnosti. Zbog dugotrajnijeg određivanja u polju u laboratoriju se najčešće određuje retencijski kapacitet tla za vodu kod kojeg tlo drži vodu silom od 0.033 MPa ili 0.33 bara.

Maksimalni vodni kapacitet je maksimalna količina vode koju tlo može primiti, ali je ne može zadržati. U trenutku kada je tlo primilo maksimalnu količinu vode, sve su pore ispunjene vodom. Takvo je stanje tla vrlo nepovoljno za uzgoj biljaka, jer je voda istisnula zrak iz pora, a zrak je za život biljaka isto toliko važan kao i voda.

Oblike vode u tlu i odnos vodnih konstanti prikazuje slika 9.



Slika.9. Shematski prikaz vodnih (hidropedoloških) konstanti

7.1.5. Gibanje vode u tlu

Gibanje vode u tlu ovisi o agregatnom stanju, o količini vode u tlu i silama koje uzrokuju to gibanje. Voda se u tlu može gibati u svim smjerovima: descendentno, ascendentno i lateralno. Ovo razmatranje o gibanju vode u tlu odnosit će se samo na vodu u tekućem agregatnom stanju (jer je taj oblik jedino značajan za reguliranje vode melioracijskim mjerama). Prilikom prirodnog vlaženja tla oborinama i navodnjavanjem voda se giba prema dolje (descendentno), a prema gore (ascendentno) kada se tlo suši ili vlaži kapilarno od podzemne vode. Osim toga, voda se može gibati i u ostalim smjerovima, lateralno, već prema djelovanju kapilarnih sila. Vлага se u tlu giba od vlažnijeg područja (manjeg napona vlažnosti) prema manje vlažnom (većeg napona vlažnosti) – u pravcu veće tenzije (sukcije). Gibanje vode u tlu uglavnom uzrokuju kapilarne sile, sile gravitacije, te hidrostatski tlak.

U svrhu pravilnog reguliranja vodo-zračnog režima u tlu nužno je poznavati osnove kapilarnog gibanja, infiltracije (upijanja) i filtracije (vodopropusnosti).

Kapilarno gibanje vode uzrokovano je razlikom napona vlažnosti tla. Takvo širenje vode, od vlažnije zone prema manje vlažnoj, odvija se uglavnom u kapilarnim porama tla. Prema tome, kapilarno gibanje vode ovisi o fizikalnim značajkama (mehanički sastav, struktura i dr.) i kemijskim tla (količina organske tvari) te temperaturi tla.

Osim sila kohezije i adhezije, na kapilarno gibanje utječe i sila gravitacije. Pri descendentnom gibanju gravitacija utječe pozitivno, ali pri ascendentnom gibanju sila gravitacije usporava ili smanjuje kapilarno gibanje.

Poznavajući kapilarno gibanje vode za određeno tlo mogu se, pri reguliranju vodnog režima, postići veći učinci i veća rentabilnost u primjeni melioracijskih mjera.

Infiltracija vode je proces upijanja vode u tlo. Poznavanje infiltracije vrlo je važno za reguliranje vode u tlu, jer o vrijednosti infiltracije ovisi je li tlo uopće pogodno za

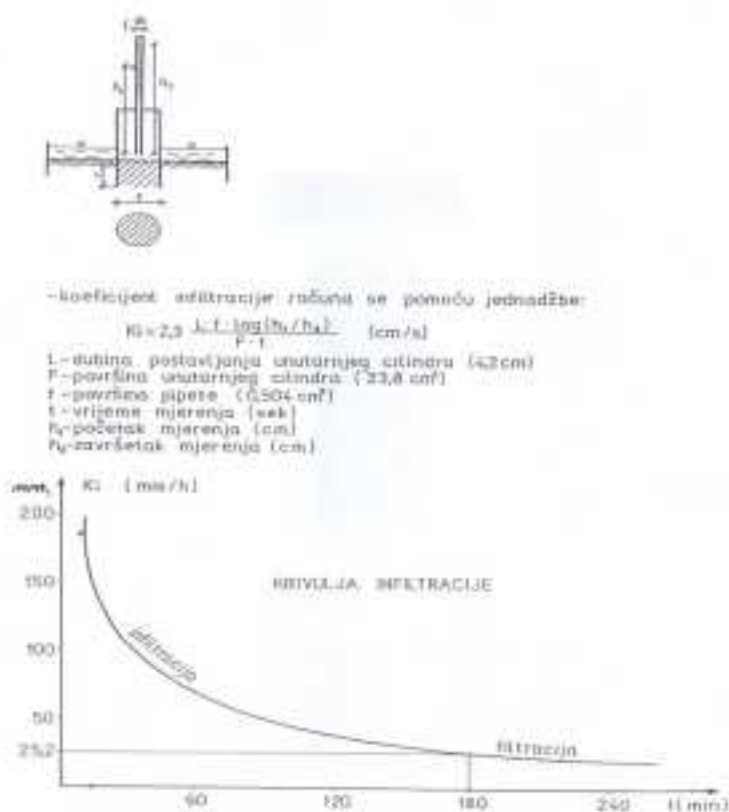
navodnjavanje, a osim toga može utjecati na izbor načina natapanja. Infiltracijom se tlo vlaži, od površine prema dubljim slojevima, djelovanjem sile gravitacije, kapilarnih sila i hidrostatskog tlaka. Intenzitet infiltracije ovisi o više čimbenika (mehaničkom sastavu tla, strukturi, porozitetu, stanju vlažnosti i količini organske tvari). Ako tlo ima krupnije čestice, bolju strukturu, veći ukupni porozitet, manju količinu vode i više organske tvari bit će veća infiltracija. Osim toga, bolja obrada tla, mali nagib terena, biljni pokrivač, viša temperatura tla i vode također povećavaju upijanje vode u tlo. Infiltracija je dinamična veličina, a dobivene njezine vrijednosti predstavljaju trenutno stanje upijene vode.

Za određivanje infiltracije može se koristiti više metoda. Najčešće se koriste različite izvedbe infiltrometara. Slika 10. prikazuje infiltrometar po Schaffer- Collinsu, koji se sastoji iz dva cilindra različitog promjera. Kod mjerenja cilindri se jednim dijelom utiskuju u tlo. U cilindre se preko birete nalijeva voda i mjeri se količina upijene vode kroz određeno vrijeme, od razine h_1 (početak mjerenja) do razine h_2 (završetak mjerenja). Mjeri se najčešće 4 sata a vrijednost infiltracije u četvrtom satu može predstavljati maksimalno dopušteni intenzitet kišenja pri natapanju. Tlo nije pogodno za natapanje ako je upijanje vode manje od 0.25 cm/sat. Infiltracija je najveća u početku mjerenja a najmanja na kraju, najčešće nakon 3-5 sati (grafikon 1).

Filtracija je gibanje vode kroz tlo djelovanjem sile gravitacije i eventualno hidrostatskog tlaka. Filtracija nastupa nakon završene infiltracije, a to je vrijeme kad se makro i mikropore pore zasite vodom, odnosno kad kapilarne sile prestanu djelovati na gibanje vode. Pri filtraciji voda se, uglavnom, kreće kroz makropore. Filtracija ovisi o svim čimbenicima o kojima ovisi i infiltracija. U pjeskovitim tlima mora se paziti na vrijeme navodnjavanja jer može doći do neželjenih posljedica. Naime, osim gubitaka vode koja se ocijedi, dolazi i do ispiranja hranjivih tvari iz površinskog sloja tla (rizosfere).

Koeficijent filtracije (vodopropusnosti) može se odrediti u laboratoriju i na terenu.

Slika 10. Infiltrometar po Schaffer-Collinsu



Grafikon 1. Infiltracija vode u tlo

8. ODVODNJA

Pod odvodnjom podrazumijevamo skup hidrotehničkih i agrotehničkih mjera, čiji je zadatak otklanjanje štetnog djelovanja prekomjernog vlaženja tla. Suvišne vode ne samo da uvjetuju nepovoljne vodo-zračne odnose u tlu, već su suviše vlažna tla hladnija, teža za obradu i imaju smanjen sadržaj fiziološki aktivne vlage. Zbog toga, temeljni cilj reguliranja suvišnih voda tla je osiguranje optimalne vlažnosti u zoni rizosfere kroz cijelo vegetacijsko razdoblje. Pri optimalnoj vlažnosti tla osigurana je i potrebna količina zraka u tlu i tada je odnos vode i zraka za uzgoj bilja najpovoljniji. U svezi s tim ostvareni su i ostali čimbenici rasta i razvoja poljoprivrednih usjeva, ponajprije toplina i hranive tvari u tlu. Prekomjerna vlažnost nekog područja rijetko je izazvana djelovanjem samo jedne vrste suvišne vode. Obično je ona izazvana zajedničkim djelovanjem poplavnih, slivnih, podzemnih i oborinskih voda.

8.1. Oblici i podrijetlo suvišnih voda

Prema obliku suvišne vode sa stanovišta hidrotehničkih melioracija dijele se na:

- površinske, i
- potpovršinske

8.1.1. Suvišne površinske vode

Prema porijeklu suvišne površinske vode mogu biti oborinske ili vlastite i vode koje dolaze sa strane. Oborinske ili vlastite vode potječu od oborina koje padnu na proizvodnu površinu. Voda koja dolazi sa strane potječe iz susjednih područja i vodotoka. S viših susjednih područja može se voda, površinski ili kroz tlo, slijevati na proizvodne površine, a iz vodotoka nailaziti pojavom poplava. U nizinskim područjima, gdje je površina ravna ili je u obliku depresije, a tlo je slabije propusnosti, voda može povremeno ili stalno stagnirati na površini.

8.1.2. Suvišne potpovršinske vode

Suvišne površinske vode mogu biti:

- stagnirajuće suvišne vode, i
- podzemne vode.

8.1.2.1. Stagnirajuće suvišne vode

Stagnirajuće suvišne vode pojavljuju se iznad slabije propusnog horizonta koji se nalazi blizu površine kod hidromorfni tala. Ove vode su značajne za pseudoglejna, epiglejna i amfiglejna tla. Stagnirajuće vode iznad slabije propusnog horizonta uglavnom se pojavljuju u rizosferi, pa je cilj melioracija ovih tala odvođenje suvišne vode iz područja korijenovog sustava biljke. Time se regulira vodo-zračni režim u tlu i onemogućuju posljedice prekomjerne vlažnosti. Uz odvođenje suvišne vode potrebno je izvršiti prorahljivanje nepropusnog horizonta u tlu, kalcifikaciju i gnojidbu, a sve u svrhu poboljšanja fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki.

8.1.2.2. Podzemne vode

Podzemne vode su slobodne vode koje ispunjavaju sve pore u tlu, tj. saturiraju (zasićuju) tlo do maksimalnog kapaciteta tla za vodu. Ovdje se misli na slobodnu vodu ispod površine tla, a ne na vodu koja je na većoj dubini ili pod tlakom (arteška voda). Pojava podzemne vode uvjetovana je prisutnošću nepropusnog sloja (na većoj ili manjoj dubini od površine terena) na kojem se nakuplja voda. Ako se podzemna voda nalazi u zoni korijenovog sustava, tada može doći u pitanje uzgoj kulturnog bilja (anaerobni uvjeti). Reguliranje podzemnih voda uspješno se rješava primjenom detaljne odvodnje (detaljnim kanalima ili cijevnom drenažom).

8.2. RJEŠAVANJE (REGULIRANJE) SUVIŠNIH VODA

Za reguliranje suvišnih voda (površinskih, stagnirajućih i podzemnih) potrebno je primijeniti više mjera:

- zaštitu područje od vanjskih voda (poplavnih i slivenih),
- osigurati oplav i osnovnu odvodnju (osnovna kanalska mreža), i
- izabrati najpogodniji sustav detaljne odvodnje koji odgovara melioracijskoj problematici određenog prostora.

Navedene melioracijske mjere nužno je izvoditi pojedinačno ili u raznim međusobnim kombinacijama, ovisno o stvarnim prilikama poljoprivrednih površina na kojima se namjerava izvršiti reguliranje suvišnih voda.

8.2.1. Zaštita (obrana) područja od vanjskih voda

U zaštiti (obrani) nekog područja od poplavnih voda koristimo se određenim hidrotehničkim mjerama (zahvatima), među kojima su najpoznatije sljedeće:

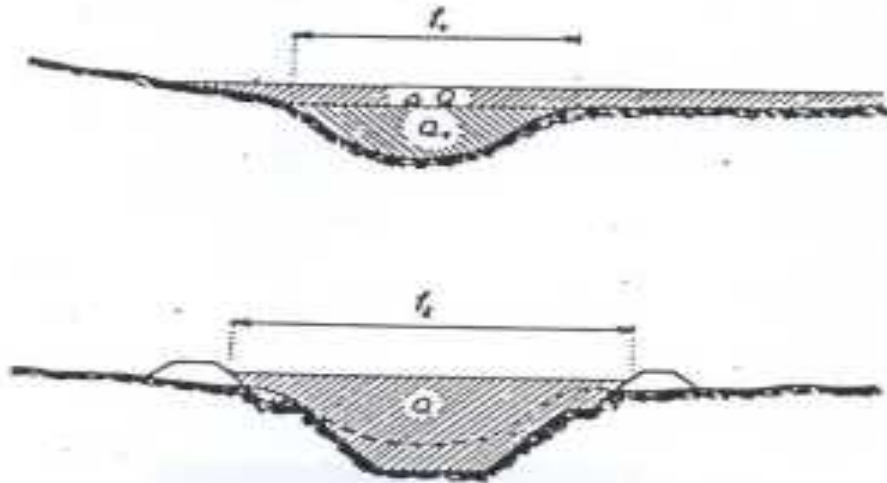
- regulacija vodotoka,
- obrambeni nasipi,
- odušni kanali,
- obodni ili lateralni kanali, i
- retencije i akumulacije.

8.2.1.1. Regulacija vodotoka

Regulacija vodotoka ima zadaću povećati protjecajni kapacitet (protoku) određenog vodotoka. Najčešći radovi koji se izvode pri ovoj hidrotehničkoj mjeri su: čišćenje korita vodotoka, povećanje protjecajnog profila korita vodotoka i rektifikacija ili ispravljanje vodotoka.

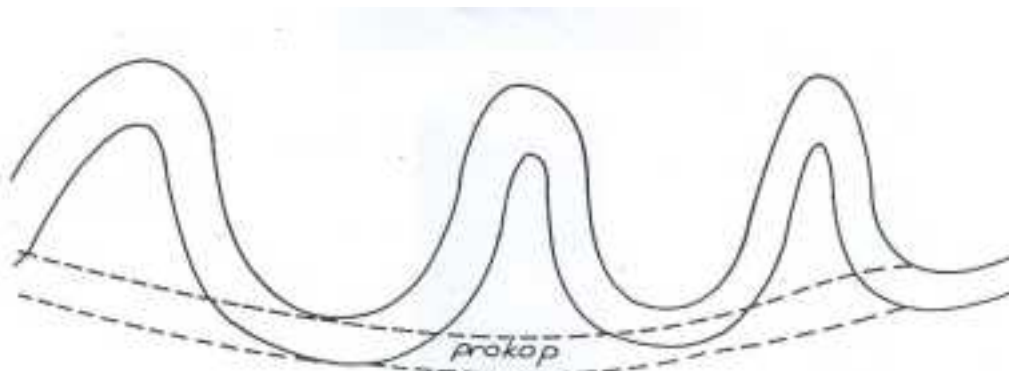
Čišćenje korita vodotoka pogodno je kod manjih vodotoka s relativno stabilnim obalama, koja su vrlo često obrasla samoniklim drvećem, grmljem i šibljem. Čišćenje korita obavlja se ručno i mehanizirano. Grmlje i šibljke može se odstraniti pilama, sjekirama i specijalnim kosama, dok se za vađenje većih panjeva koriste bageri i kopači panjeva.

Povećanje protjecajnog profila korita vodotoka vrši se produbljivanjem i proširivanjem korita vodotoka i na taj način se se dobije veća površina protočnog profila i obično veća brzina vode (slika 11). Produbljivanje korita obavlja se bagerima.



Slika 11. Smanjeni i povećani protočni profil vodotoka

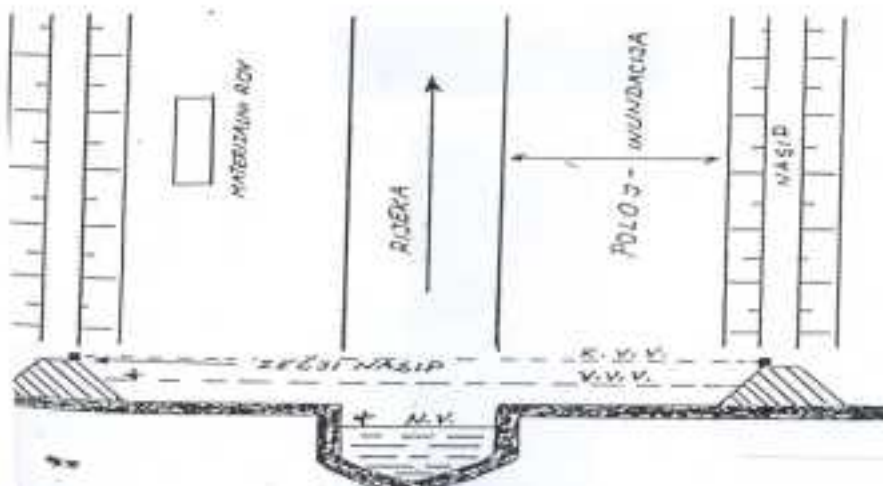
Rektifikacija ili ispravljanje vodotoka je presjecanje (prokop) zavoja (meandara) na vodotoku koji ima mali pad. Prokopom se smanjuje duljina korita, a povećava relativni pad, što dalje utječe na veću brzinu kao i protoku u vodotoku (slika12).



Slika 12. Ratifikacija ili ispravljanje vodotoka

8.2.1.2. Obrambeni nasipi

Obrambeni nasipi podižu se uzduž većih vodenih tokova u ravničarskim područjima. Izgradnjom nasipa povećava se protjecajni profil korita vodotoka i sprječava poplava. Budući da su nasipi ograničene visine, njima se može obuhvatiti samo ograničena količina vode. Ako je u pitanju veća količina vode onda se između nasipa i korita rijeke ostavi dovoljan razmak - poloj ili inundacija (slika 13). Najučinkovitija zaštita od poplava postiže se određenom kombinacijom obrambenih nasipa, regulacijom korita i akumulacijom vode. Nasipi se obično izgrađuju od tla koje se nalazi na mjestu izgradnje. Poprečni presjek nasipa je trapez, s pokosom 1:2. Kruna nasipa treba biti oko 1,0 m iznad najveće očekivane vode. U slučaju pojave iznimno velikih voda (katastrofalnih), nasipi se mogu nadvisiti za 1,0 m s tzv. «zečijim» nasipom.

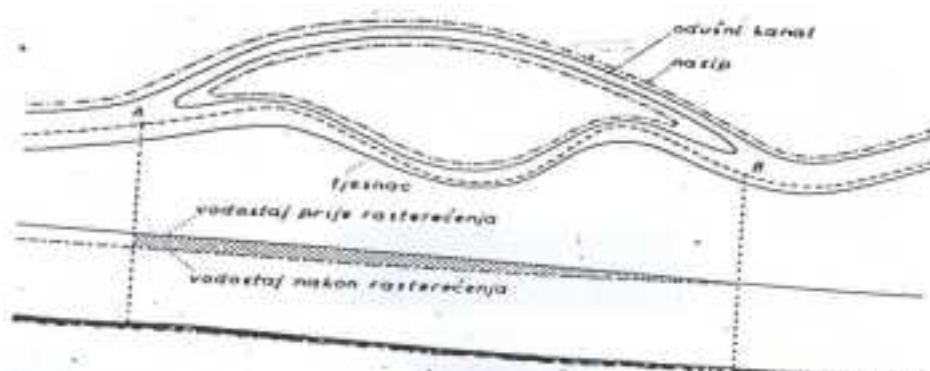


Slika 13. Obrambeni nasipi

8.2.1.3. Odušni kanali

Odušni kanali rasterećuju vodotok od jednog dijela velike vode. Razlikuju se dvije vrste odušnih kanala: paralelni i poprečni.

Paralelni odušni kanali izlaze iz matičnog vodotoka ispred mjesta ugroženog poplavom, a ulaze ponovo u isti vodotok iza ugroženog mjesta, tj. tamo gdje je kapacitet korita ponovno toliko velik da može primiti svu vodu (slika 14). Ugrožena mjesta vodotoka nastaju uslijed prirodnih zapreka (tjesnaca), tako da vodotok na tim mjestima ima smanjen protočni kapacitet.

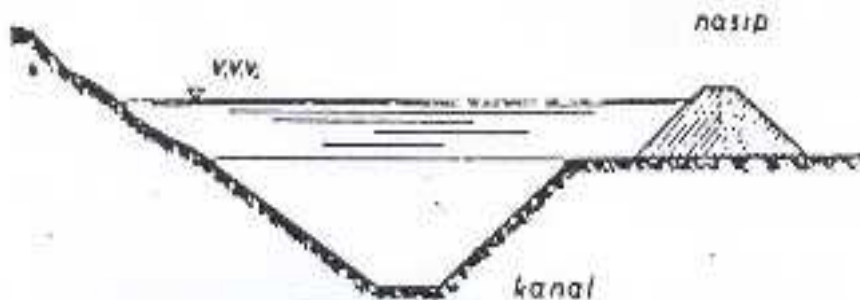


Slika 14. Paralelni odušni kanal

Poprečni odušni kanali također izlaze iz matičnog vodotoka ispred mjesta ugroženog poplavama i prihvataju višak voda tzv. «vodeni val». U trenutku kad vodeni val padne, vode iz odušnog kanala upuštaju se u isti vodotok.

8.2.1.4. Obodni ili lateralni kanali

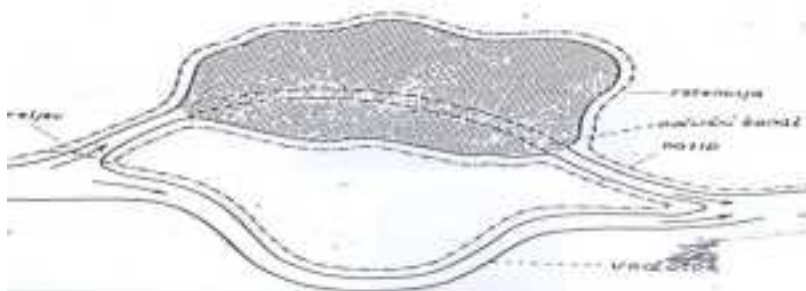
Obodni ili lateralni kanali štite melioracijsko područje od brdskih slivnih voda i odvođe je do recipijenta. Poprečni presjek obodnog kanala je dvostruki trapez, koji je prema povišenom terenu otvoren, a prema dolini koju štiti završava nasipom (slika 15.).



Slika 15. Poprečni presjek obodnog ili lateralnog kanala

8.2.1.5. Retencije i akumulacije

Retencije i akumulacije, često kao spremišta, dolaze u kombinaciji s izgradnjom odušnog kanala (slika 16). Obično se uz vodotok ili u njegovoj blizini nalaze depresije koje se iskorištavaju za akumulaciju vode, i to za vrijeme visokih vodostaja, odnosno poplava. Nakon prolaska velikih voda ovi se retencijski bazeni mogu, prazniti putem odušnih kanala, ili se akumulirana voda može koristiti za navodnjavanje i u športsko rekreacijske namjene.



Slika 16. Retencija u kombinaciji s odušnim kanalom

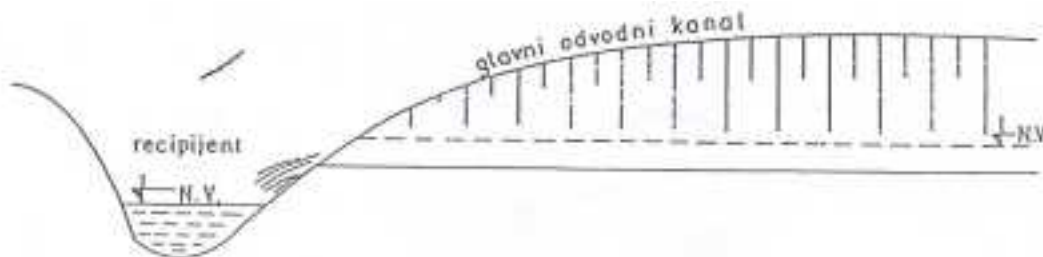
8.3. Oplav

Oplav je odvođenje sakupljene suvišne vode s melioracijskog područja u recipijent (vodoprijemnik). Razlikuju se sljedeći načini oplavi:

- gravitacijska oplav,
- umjetna (crpna) oplav, i
- kombinirana oplav.

8.3.1. Gravitacijska (prirodna) oplav

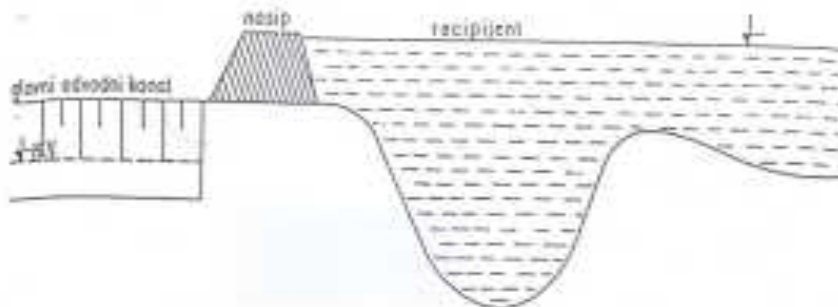
Gravitacijska (prirodna) oplav je odvođenje sakupljene suvišne vode s melioracijskog područja u recipijent prirodnim padom (gravitacijom). U ovom slučaju mora biti zadovoljen uvjet da je razina vode u recipijentu niža od razine vode u glavnom odvodnom kanalu. Gravitacijsku oplav prikazuje slika 17.



Slika 17. Gravitacijska oplav

8.3.2. Umjetna (crpna) oplav

Umjetna (crpna) oplav primjenjuje se u slučaju kada je kota melioracijskog područja ili glavnog odvodnog kanala niža od kote vodoprijemnika (recipijenta), pa se voda s melioracijskog područja odvodi prebacivanjem pomoću crpnih sustava (slika18). Tipičan primjer za crpnu oplav je dolina rijeke Save.



Slika 18. Umjetna oplav

8.3.3 Kombinirana (mješovita) oplav

Kombinirana (mješovita) oplav primjenjuje se u slučaju kada je tijekom godine u jednom vremenskom razdoblju razina vode u recipijentu tako niska da je omogućeno prirodno otjecanje vode iz melioracijskog područja, a u drugom vremenskom razdoblju, kada se razina vode u recipijentu povisi iznad vode u glavnom odvodnom kanalu, mora se pristupiti umjetnom odvođenju (prebacivanje pomoću crpnih sustava) vode.

8.4. Detaljna odvodnja

Nakon osigurane obrane od vanjskih voda i osigurane oplavi, moguće je učinkovito riješiti problem vlastitih voda izvođenjem osnovne i detaljne odvodnje na proizvodnim površinama. Osnovnu odvodnju najčešće čine otvoreni kanali I. i II. reda, a rjeđe zatvoreni kolektori. Detaljnu odvodnju čine hidrotehnički i agromelioracijski zahvati koji se izvode na proizvodnim tablama u svrhu reguliranja vodo-zračnog režima tla u području korijenovog sustava. Osnovnom odvodnjom poglavito se bave hidrotehničari, a detaljna je više vezana uz agronomsku struku. Radi toga se u ovoj skripti više pozornosti posvećuje području detaljne odvodnje.

Detaljna odvodnja dijeli se na:

- površinsku,
- podzemnu, i
- kombiniranu.

8.4.1. Površinska detaljna odvodnja

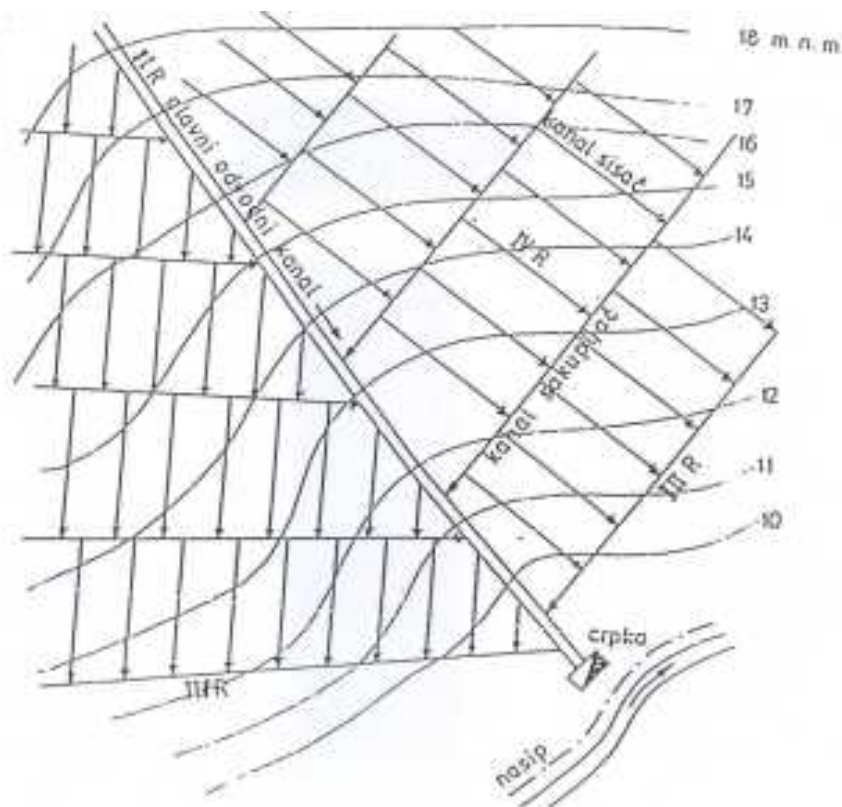
Temeljna svrha površinske detaljne odvodnje je da sakupi višak oborina i što brže odvede u sustav osnovne odvodnje (kanale I i II reda). Sakupljanje i odvođenje suvišnih površinskih voda s proizvodnih površina je nužno, jer preplavlјivanje tla, u bilo kojem stadiju razvoja biljke, nepovoljno utječe na prinose.

Postoji više načina površinske detaljne odvodnje, a najčešće se primjenjuju sljedeći:

- odvodnja srednje dubokim kanalima, i
- odvodnju random kanalima.

8.4.1.1. Odvodnja srednje dubokim kanalima

Sastoji se od mreže kanala III. i IV. reda i odnosi se na rješavanje problema suvišnih voda na samoj tabli, dok u osnovnu odvodnju spadaju kanali I i II reda i rješavaju problem suvišnih voda na širem melioracijskom području (slika19.).



Slika19. Shema odvodnje kanalima

Kanali se dijele prema svojoj ulozi na:

- glavne odvodne kanale (kanali I. reda),
- kanale sakupljače ili sabirne (kanali II. reda), i
- kanale sisače (kanali III. i IV. reda)

Glavni odvodni kanali (kanali I. reda) projektiraju se po najnižim dijelovima terena (depresijama), kako bi se postigla što bolja gravitacijska oplav. Oni prihvaćaju vodu iz kanala sakupljača i odvođe je u recipijent (rijeku, jezero i sl.). Većih su hidrauličkih dimenzija i dimenzioniraju se na osnovi specifičnog površinskog dotoka (q) i odgovarajuće slivne površine (F). Dužina ovih kanala može biti i do 15 km.

Kanali sakupljači ili sabirni (kanali II. reda) projektiraju se na nešto manjim depresijama terena. Sakupljaju vodu iz manjih kanala (sisača). Dužina im ovisi o konfiguraciji (obliku) terena, a obično se kreće do 3,0 km s razmakom 500-2000 m.

Kanali sisači (kanali III. i IV. reda) pripadaju u područje detaljne odvodnje. Projektiraju se paralelno ili pod izvjesnim kutem na pad terena, da bi što bolje i brže odveli vodu s najugroženijih mjesta na tabli do kanala sakupljača (II. reda). Kanali III. reda su dužine 500-2000 m, a razmaka su 300-600 m. Kanali IV. reda su dužine 300-600 m, a razmaka 100-150 m. Dubina kanala III. reda je najčešće oko 1,7 m, a IV. reda je oko 1,2 m.

Razmak detaljnih kanala može se izračunati i prema formuli po Kostjakovu:

$$D = \frac{78koAT^2}{Y} \sqrt{I} \text{ gdje su:}$$

ko = koeficijent površinskog otjecanja, najčešće je 0,3-0,8

A = maksimalni intenzitet ljetnih oborina (mm/h)

T = dozvoljeno vrijeme plavljenja-zadržavanja vode na tabli (h)

I = relativni pad terena (m/m)

Y = koeficijent hrapavosti terena, ovisi o obradi i obraslosti terena, najčešće je 2-15.

Kod projektiranja otvorenih kanala mora se voditi računa o kutu ulijevanja manjih kanala u veće. Najbolje bi bilo kada bi se kanali ulijevali (sastavljali) pod pravim kutem. U tom slučaju postiže se najmanji gubitak proizvodne površine, kao i najlakši pristup kod obrade table. Kod sastavljanja dva veća kanala izbjegava se kut od 90° a prakticira 60° ili 45° . Veličina kuta ovisi o:

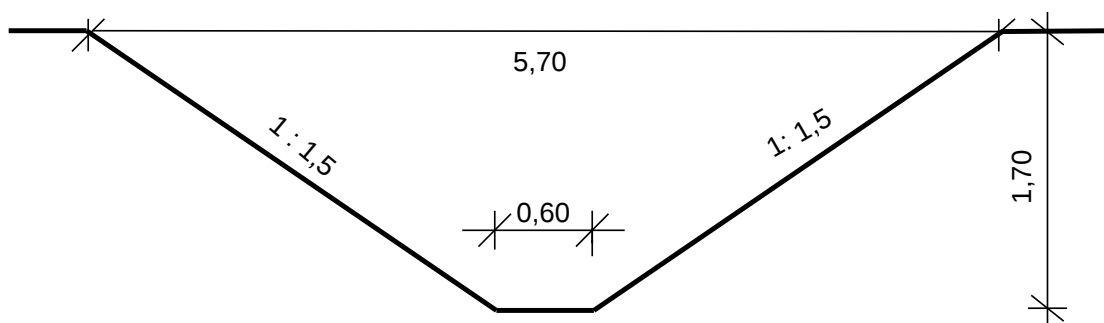
- protoku vode (Q),
- brzini vode u kanalima, i
- veličini i čistoći korita kanala.

Minimalni pad glavnog kanala (I reda) iznosi 0,1‰ (10cm/km), a kanala sisača (IV r.) 0,3 ‰ (30 cm/km).

Maksimalni padovi za sve kanale kreću se od 1,0 – 1,2 ‰ (100-120 cm/km).

Projektiranje kanala izvan navedenih granica relativnog pada treba izbjegavati. U protivnom se javljaju problemi vrlo malih (nedovoljnih) ili vrlo velikih (nedopuštenih) brzina vode u kanalima, što dovodi do njihovog zamuljivanja, odnosno znatnog oštećenja dna i pokosa.

Brzina vode u kanalu (glinasto tlo) kreće se od 0,05 do 0,80 m/s.
 Poprečni presjek otvorenih kanala redovito je trapez.
 Nagib pokosa je 1:1-3 (slika 20).



Slika 20. Shema i prirodni izgled detaljnog kanala s najčešćim dimenzijama (m)

Prednosti odvodnje otvorenim kanalima su:

- brzo odvede velike količine vode u kratkom vremenskom razdoblju,
- sustav funkcionira i kod malih padova 0,3 ‰ , i
- relativno niska cijena izgradnje.

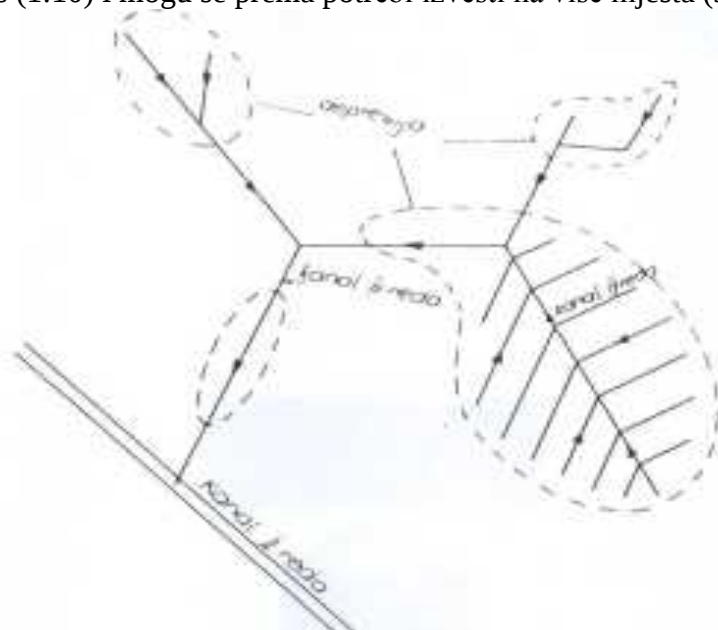
Nedostaci odvodnje otvorenim kanalima su:

- oduzima proizvodne površine i do 20 %,
- ometa kretanje mehanizacije,
- pospješuje rast i razmnožavanje korova u kanalima i uz kanale, i
- zahtijeva češće čišćenje (izmuljivanje).

8.4.1.2. Odvodnja random kanalima

Ovaj sustav odvodnje posebno je prikladan na terenima gdje se postojeće depresije na obradivim površinama ne mogu na drugi način sanirati, a suvišne vode u depresijama

otežavaju agrotehničke radove na većem dijelu površine. Pojedinačni kanali IV. reda ili jarci imaju blagi pokos (1:10) i mogu se prema potrebi izvesti na više mjesta (slika 21.).



Slika 21. Odvodnja random kanalima

8.4.1.3. Izvođenje i održavanje sustava površinske odvodnje

Strojevi pomoću kojih se *izvodi površinska odvodnja* mogu se podijeliti u dvije skupine:

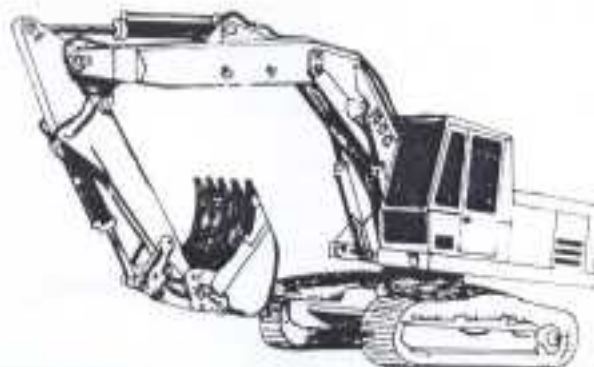
- strojevi za kopanje i utovar materijala-bageri, i
- strojevi za odguravanje, razgrtanje i poravnavanje (planiranje) iskopanog materijala-dozeri

Osim ovih strojeva ponekad se, ovisno o vrsti i tehnologiji izvođenja melioracijskih kanala, koriste i strojevi za transport iskopanog materijala (kamioni), a rjeđe i drugi građevinski strojevi (utovarivači, transportne trake, grejderi za fino profiliranje pokosa i sl.).

Danas se u melioracijskim radovima koriste uglavnom hidraulični **bageri**, koji se mogu podijeliti obzirom na način vješanja oruđa za rad, odnosno način vješanja bagerske korpe na:

- hidraulične bagere s krutom kinematskom vezom radnog oruđa (korpa), i
- hidraulične bagere s povlačnom korpom, bager sajlaš

Hidraulični bager s krutom kinematskom vezom (slika 22.) služi za iskop kanala IV reda, čija je širina dna uglavnom 0,6 m, a pokos bočnih strana 1:1,5. Shodno navedenim podacima izrađena su i odgovarajuća oruđa za kopanje. To su tzv. trapezne korpe, odnosno korpe, kojima se odmah oblikuje kanal prema spomenutim podacima (slika 23.).

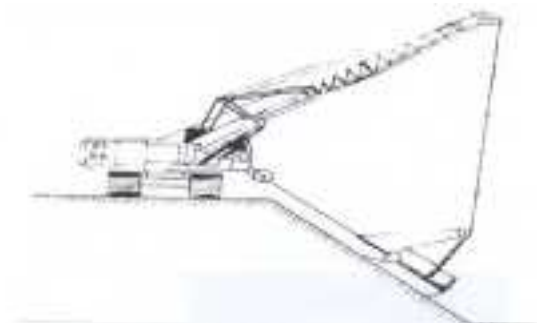


Slika 22. Hidraulični bager s krutom kinematskom vezom



Slika 23. Iskop detaljnih kanala s profilnom trapeznom korpom

Hidraulični bager s povlačnom korpom-bager sajlaš (slika 24.) služi za iskop svih ostalih kanala koji se pojavljuju u hidromelioracijskim projektima.



Slika 24. Hidraulični bager s povlačnom korpom.

Dozeri su druga velika skupina strojeva, koji se koriste u izvođenju melioracijskih radova. Namjena im je, uglavnom, dvojaka:

- za razgrtanje iskopanog tla na šire područje, i
- za formiranje nasipa različitog oblika.

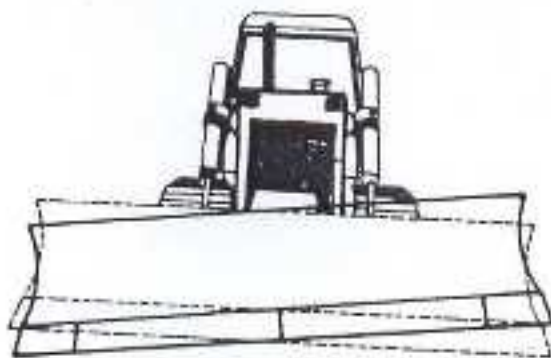
Prema položaju radnog oruđa na dozeru razlikuju se sljedeći tipovi:

- buldozeri,
- tiltlozeri, i
- anglozeri.

Sve tri vrste ovih strojeva mogu naći primjenu u radovima melioracija, premda su najčešće u primjeni anglozeri.

Buldozer ima mogućnost postavljanja radnog oruđa samo na podužnu os stroja. To se oruđe može pomicati samo po vertikalnoj osi, odnosno može se podizati i spuštati. Pri tom podizanju i spuštanju, daska-radno oruđe, uvijek je horizontalna. Buldozerima se, dakle, mogu izvršiti radovi horizontalnog iskopa i razguravanja tla. U današnje vrijeme buldozer se rijetko ili samo kod nekih specijalnih poslova primjenjuje u izvedbi melioracijskih kanala. Razlog je slaba pokretljivost i loša manevarska sposobnost u blizini kanala.

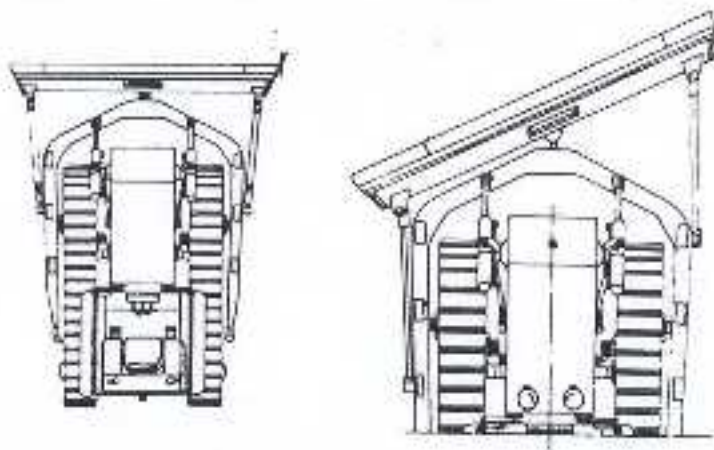
Tiltlozer je traktor kod kojeg se radno oruđe-daska može otklanjati od uzdužne osi traktora, dizati i spuštati (slika 25). Pri dizanju i spuštanju daska se može otkloniti-ukositi od horizontale, što znači da se daska zaokreće oko uzdužne osi traktora, odnosno pojedinačno se može spustiti ili podići svaki kraj daske. Ova vrsta strojeva naročito je praktična za iskop kanala s manjim pokosom (do 30°).



Slika 25. Tiltlozer

Anglozer je traktor, kod kojeg se radno oruđe – daska može otklanjati od uzdužne osi traktora, a uz to se može pomicati po vertikali (slika 26.). Pri podizanju i spuštanju daska ostaje stalno horizontalna.

Anglozer ima primjenu u izvođenju melioracijskih kanala i to u svrhu razgrtanja deponija nastalih prilikom iskopa kanala. Dužina puta pri odguravanju tla je različita i ovisi o tome koliko je velik prethodno iskopani kanal. Danas se uglavnom postavljaju prilično oštri uvjeti za razgrtanje deponija iskopanog materijala. Zbog agrotehničkih uvjeta traži se gotovo potpuno izravnavanje terena. Radni učinci anglozera u izvođenju melioracijskih radova, ovise o različitim uvjetima i znatno su mu bolje manevarske sposobnosti nego kod buldozera.

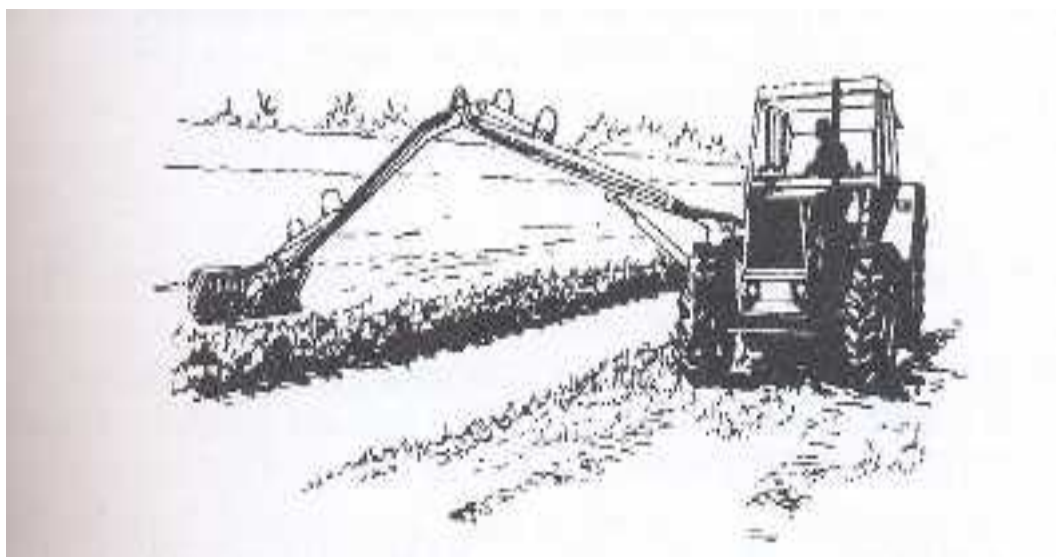


Slika 26. Angldozer

Programirane mjere i **radovi održavanja sustava površinske odvodnje** uključuju:

- tekuće radove (mjere) održavanja (svake godine), i
- kapitalne radove (mjere) održavanja (nakon nekoliko godina).

Tekući radovi (mjere) održavanja izvode se svake godine. Obuhvaćaju mehaničko čišćenje ili/i kemijsko tretiranje korova na pokosima i bankinama kanala i zaštitnom pojasu, te sječu drvenastog bilja i šiblja promjera 3-5 cm, ovisno o vrstama bilja i klimatsko-hidrološkim prilikama. Za tekuće održavanje najviše se rabe samohodne kosilice. Postoje i univerzalni čistači kanala koji istodobno kose pokose i dno kanala, imajući košaru za skupljanje i prijenos pokošenog materijala. Na slici 27. prikazan je tip kosilice jaružar.



Slika 27. Kosilica - jaružar

Kapitalni radovi (mjere) imaju obilježje tehničkog održavanja kanala, koje se sastoji od izmuljivanju dna kanala (svakih 3-5 godina) i održavanja ostalih hidrotehničkih objekata, svakih 5-8 godina.

Sve je više strojeva za kombinirano izmuljivanje i uređenje profila kanala. Izbor strojeva za određene namjene ovisit će o opsegu i učestalosti radova, veličini kanala, oblozi kanala i pristupačnosti kanala. Na slici 28. prikazan je višenamjenski bager za izmuljivanje kanala. Svim navedenim i sličnim strojevima na održavanju kanala mora biti osiguran nesmetan pristup i zahtijevaju prosječnu radnu širinu od 3 do 4 m.



Slika 28 Višenamjenski bager

8.4.2. Podzemna odvodnja – cijevna drenaža

Podzemna odvodnja primjenjuje se za sniženje razine podzemne vode u tlima koja imaju dobru propusnost za vodu. To su tla koja imaju jednoličnu propusnost u profilu, kao što su većina hipoglejnih, humoglejnih i aluvijalnih tala, a prekomjerno su vlažena u aktivnom dijelu profila uslijed dizanja podzemne vode. Za primjenu podzemne detaljne odvodnje tlo treba imati horizontalnu propusnost za vodu veću od 16 cm/dan, a u protivnom je nužno primijeniti kombiniranu detaljnu odvodnju.

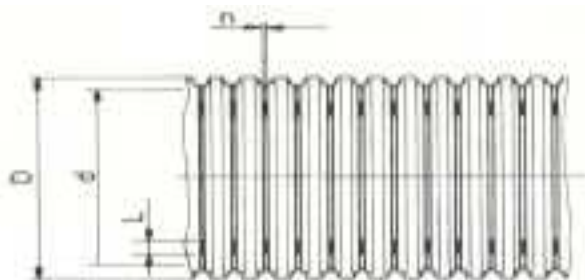
Podzemna odvodnja može se obavljati sustavom otvorenih kanala ili podzemnim cijevima (drenažom). Budući da je za reguliranje previsoke razine podzemne vode u mnogim tlima potrebno odvesti (kanale ili cijevi) postavljati na manji razmak od 50 m, otvoreni kanali kao sustav odvodnje rijetko se primjenjuju. Oni se, eventualno, mogu koristiti samo za reguliranje podzemne vode u vrlo propusnim tlima gdje su njihovi razmaci od 100 do 150 m dovoljni. Danas se u praksi za reguliranje podzemne vode, uglavnom, primjenjuje sustav cijevne drenaže.

Drenaža poljoprivrednog zemljišta ili podzemna odvodnja je način odvodnje kod kojeg se sakupljanje i transport (evakuacija) suvišne vode tla obavlja plastičnim cijevima (od polivinilklorida-PVC), koje su iz uporabe potisnule sve ostale materijale. U odnosu na ostale drenažne materijale PVC cijevi imaju slijedeće prednosti:

- lakši transport, i
- automatsko polaganje u tlo.

Plastične drenske cijevi mogu biti glatke i rebraste (naborane). Danas se uglavnom upotrebljavaju samo rebraste cijevi (slika 29). Voda ulazi u drenske cijevi kroz niz perforacija (otvora), koje se nalaze u utoru drena (15 mm x 1-2 mm). Drenske plastične cijevi su standardnih promjera (50, 65, 80, 100, 125, 160 i 200 mm). Dužina drena ovisi o promjeru i

kreće se od 50 do 200 m. Za spajanje cijevi istog ili različitog profila koriste se fazonski komadi.



Slika 29. Plastična drenska rebrasta cijev

Drenske se cijevi ovisno o funkciji koju obavljaju dijele na:

Sisala (sisalice) su cijevi koje neposredno primaju vodu iz tla i odводе je u cijevi većeg promjera ili direktno u recipijent (kanal IV reda). Dužina sisala iznosi maksimalno 200 m, a njihov promjer je 50-80 mm.

Hvatala (sabirnice) su cijevi koje primaju, odnosno sabiru vodu iz više sisala i odводе je u kolektor (cijevi još većeg promjera) ili otvoreni kanal. Promjera su većeg od 80 mm, a njihova dužina ovisi o padu terena, površini koju dreniraju i položaju recipijenta. Mjesto na kojem se drenaža ulijeva u recipijent naziva se izljev (ušće) drenaže.

Više sisala priključenih na jedno hvatalo, koje je dalje spojeno s podzemnim kolektorom višeg reda, nazivamo sustavom. Drensku mrežu, koja se sastoji od jednog ili više sustava, a ima odvojen, jedinstven izljev u otvoreni vodoprijemnik (recipijent), nazivamo grupom ili sekcijom.

Ako su sisala vezana u sustav govorimo o sustavnoj drenaži (osnovni su sustavi: prugasti, riblja kost i dvostruka riblja kost). Izvodi se na terenima s dovoljnim padom.

Slobodna sisala, koja se direktno ulijevaju u otvoreni vodoprijemnik, nazivaju se slobodna (nezavisna) drenaža. Slobodna drenaža izvodi se na terenima s malim padom (<1%). Ukoliko se drenaža projektira i izvodi prema određenim kriterijima i normativima tada se radi o sustavnoj cijevnoj drenaži, a moguće je drenažu u specifičnim slučajevima izvoditi i bez projektiranja. Tada se radi o nesustavnoj ili parcijalnoj drenaži.

8.4.2.1. Sustavna cijevna drenaža

Elementi za izvođenje i projektiranje cijevne drenaže su sljedeći:

- dubina cijevi,
- razmak cijevi,
- pad cijevi,
- dimenzije (promjer) cijevi,
- položaj cijevi, i
- fazonski dijelovi.

Dubina cijevi

Prema dubini na koju se polažu cijevi, drenaža se dijeli na:

- plitku, ako su drenovi postavljeni na dubinu od 0,8 do 1,0 m,
- srednje duboku, ako su drenovi postavljeni na dubinu od 1,0 do 1,3 m, i

- duboku, ako su drenovi postavljeni na dubinu veću od 1,3 m.

Dubina postavljanja drenskih cijevi ovisi o uzgajanom usjevu, mogućnosti uspostavljanja oplavi, značajkama tla i slično.

Razmak cijevi

Razmak cijevi je jedan od važnijih elemenata u sustavu detaljne odvodnje cijevnom drenažom. Naime, uspješnost reguliranja previsoke razine vode u obradivim tlima najviše ovisi o gustoći i dubini postavljenih cijevi. Za proračun razmaka drenažnih cijevi postoje brojne formule i nomogrami raznih autora, a temelje se na stacionarnom tečenju vode, ili stanju ravnoteže između inteziteta dolaska vode (intezitet oborina) i inteziteta odvoda vode (intezitet protoke) u sustavu odvodnje. Radi se zapravo o pretpostavci da se razina vode ne mijenja s vremenom, već ostaje u stalnom položaju. Stacionarno tečenje se rijetko događa u prirodi, dok je češći slučaj nestacionarnog tečenja, jer razina podzemne vode gotovo uvijek raste ili opada. Međutim, zbog jednostavnijeg rješavanja razmaka cijevne drenaže najčešće se koriste jednadžbe za stacionarno tečenje vode (Hooghoudta i Ernsta). One uzimaju u obzir vertikalnu, horizontalnu i radijalnu komponentu toka vode prema cijevima.

U praksi se razmak drenažnih cijevi najčešće određuje prema Hooghoudt-ovoj jednadžbi, koja se koristi za tri moguća slučaja:

- 1) Razmak drenažnih cijevi u homogenom tlu (približno jednake hidrauličke vodopropusnosti):

$$L^2 = \frac{8 \times k \times d \times h + 4 \times k \times h^2}{q}$$

L = razmak drenova (m)

q = drenažni istek (m/dan)

k₁ = hidraulička provodljivost sloja tla iznad drena (m/dan)

k₂ = hidraulička provodljivost sloja tla ispod drena (m/dan)

h = visina razine vode iznad drenova u sredini između dva drena (m)

d = debljina «ekvivalentnog sloja» (m)

D = udaljenost od drena do nepropusnog sloja horizonta (m)

- 2) Razmak drenažnih cijevi u heterogenom tlu (različite hidrauličke vodopropusnosti):

$$L^2 = \frac{8 \times k_2 \times d \times h}{q} + \frac{4 \times k_1 \times h^2}{q}$$

- 3) Razmak drenažnih cijevi pri polaganju cijevi na nepropusni sloj:

$$L^2 = \frac{4 \times k_1 \times h^2}{q}$$

Iz navedenih formula proizlazi da razmak drenova ovisi o: koeficijentu propusnosti tla za vodu (k), dubini nepropusnog sloja (ekvivalentnoj dubini-d), normi odvodnje (a-dubina do

koje se treba spustiti razina podzemne vode u sredini između dva drena) i specifičnog drenažnog isteka (q).

Koeficijent propusnosti tla za vodu (k) označava njegovu prirodnu dreniranost.

Ekvivalentna dubina (d) označava reduciranu dubinu do stvarne dubine nepropusnog sloja. Može se izračunati ili odrediti iz tablice (vidi vježbe).

Norma odvodnje (a) je dubina na kojoj treba održavati razinu podzemne vode pri uzgoju poljoprivrednih usjeva. Ona odgovara dubini u kojoj biljke razvijaju glavninu korijenova sustava. Norma odvodnje je u izravnoj vezi s dubinom drenova i visinom podzemne vode iznad cijevi u sredini između dva drena (slika 30.).



Slika 30. Izgled podzemne vode između dvije drenske cijevi

$a = t - h$ gdje su:

a - norma odvodnje u sustavu cijevne drenaže (m)

t - dubina cijevi (m)

h - visina podzemne vode iznad cijevi u sredini između dva drena (m)

Specifični drenažni istek ili modul odvodnje (q) predstavlja količinu vode koja se odvodi s proizvodnih površina drenažnim sustavima u mm/dan ili l/s/ha. Drenažni istek je vrlo značajan za dimenzioniranje a njegova vrijednost ovisi o nizu čimbenika (svojstvima tla, nagibu terena, uzgajanoj kulturi, visini podzemne vode i dr.).

Pad cijevi

Pad cijevne drenaže ima značajnu ulogu u njezinom ispravnom funkcioniranju. O padu ovisi brzina tečenja vode u drenskoj cijevi, odnosno veća ili manja mogućnost njezinog začepjenja-zamuljenja. Na terenima s vrlo malim relativnim padovima, drenažnim cijevima se daju umjetni padovi. Pad drenova ovisan je o promjeru cijevi i brzini vode u cijevi a može se izračunati prema izrazu:

$$I = \frac{V^2}{C^2 \times R} \text{ gdje su:}$$

I - relativni pad cijevi (m/m)

V - srednja brzina vode u cijevi (m/sec)

R - hidraulički radius (m)

C - koeficijent brzine vode

Za cijevi sisala pad se praktično uzima od 1,5 do 3,0 ‰, a za cijevi hvatala 1,0-2,0 ‰. Poželjno je da minimalna brzina vode u cijevi iznosi 0,25 m/s a maksimalna 1,0 m/s.

Dužina cijevi

Dužina sisala najčešće se kreće od 120 do 200 m. Povećanjem dužine sisala smanjuje se dužina hvatala i kolektora ili otvorenih kanala (IV r.).

Dimenzije (promjer) cijevi

Promjer cijevi razlikuje se za sisala i hvatala. Sisala imaju najčešće promjer 50, 65 i 80 mm, dok su hvatala većeg promjera od 80 mm i određuju se dimenzioniranjem. Promjer drenova prvenstveno ovisi o površini s koje se voda slijeva u dren, specifičnom dotoku i padu drena.

Za proračun promjera drenažnih cijevi može se koristiti jednačba po Gieseleru:

$$d = \frac{1}{3} \sqrt[5]{\frac{Q^2}{I}} \text{ gdje su:}$$

d - promjer cijevi (m)

Q - protok-količina vode koja će prolaziti kroz cijev (m³/s)

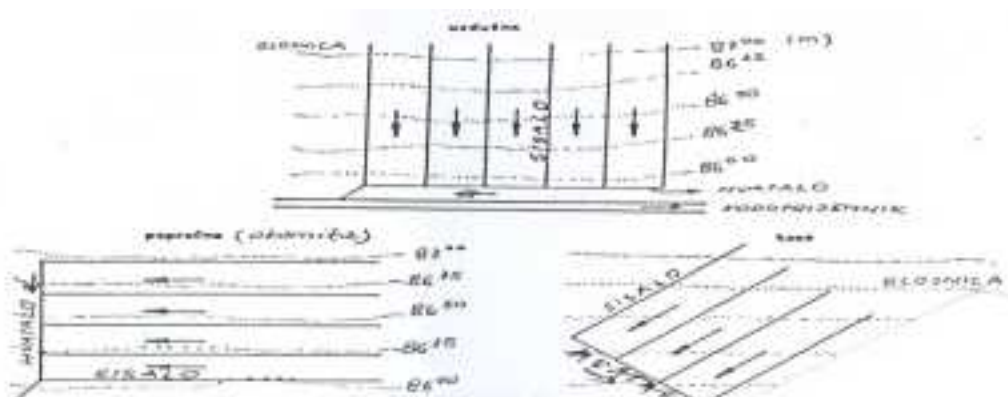
I - relativni pad cijevi (m/m)

Dužina plastičnih cijevi uglavnom iznosi 50-100 m, a isporučuju se u kolutima.

Položaj cijevi

Položaj drenova (sisala), u odnosu na pad terena vrlo je važan. U odnosu na smjer pada terena, odnosno smjer gibanja podzemne vode, određuje se tip drenaže. Stoga se razlikuju tri osnovna tipa drenaže (slika 31):

- uzdužna – sisala su položena okomito na slojnice i približno su paralelna s tokovima podzemne vode
- poprečna – sisala su položena paralelno na slojnice, efikasnija je od uzdužne do 20 %
- kosa – sisala su položena koso na slojnice, vrlo često se primjenjuje u praksi



Slika 31. Osnovni tipovi drenaže

Fazonski dijelovi

U fazonske dijelove spada izljevna cijev s poklopcem, zaštitna plastična folija, spojnice i čep. Izljevna cijev se spaja na naboranu perforiranu cijev i izlazi u kanal. Poklopac

na cijevi štiti ulazak poljskih životinja u cijev. Zaštitna plastična folija štiti pokos kanala od erozije i podlokavanja pri isteku vode iz cijevi u kanal. Postoje spojnice za spajanje, redukcijske i T-spojnice i čep koji se stavlja na kraju cijevi (slika 32.).

PRONIZIL d - mm	50	65	80	100	125	160	200			
d - mm	50	65	80	100	125	160	200			
d - mm	50	65	80	100	125	160	200			
d - mm	50	65	80	100	125	160	200			
d - mm	60/50	80/50	90/65	100/80	100/65	100/80	125/50	125/65	125/80	
B - mm	125/100	140/90	160/65	160/80	160/90	160/125	200/85	200/80	200/125	
d - mm	50	80	100	125	160	200				
d - mm	65/50	80/65	100/80	125/100	160/125	200/160				
d - mm	50	65	80	100	125	160	200			
d - mm	50	65	80	100	125	160	200			

Slika 32. Fazonski dijelovi

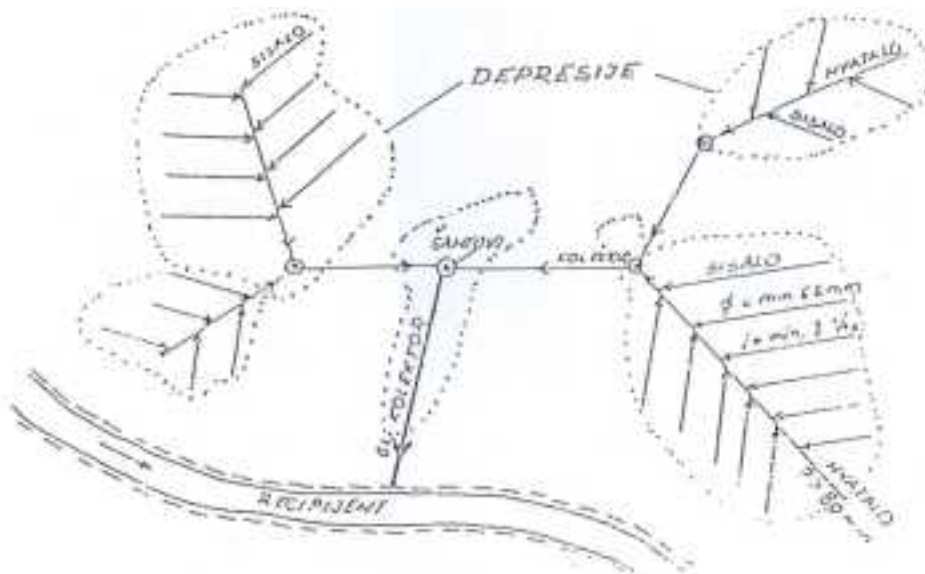
8.4.2.2. Nesustavna (parcijalna) cijevna drenaža

Nesustavna cijevna drenaža odgovara parcijalnoj drenaži koja se izvodi samo na ugroženim dijelovima zemljišta. Ovdje nije potreban proračun razmaka i dubine drenova, jer ovi parametri odvodnje ovise o konkretnom slučaju.

Slično kao i kod otvorenih kanal razlikujemo:

- random ili drenažu po «udolinicama», i
- drenažu pištavaca.

Random sustav primjenjuje se kod odvodnje manjih ili većih depresija u kojima vlada nepovoljan vodozračni režim i nema potrebe za dreniranjem cijele površine (slika 33.).

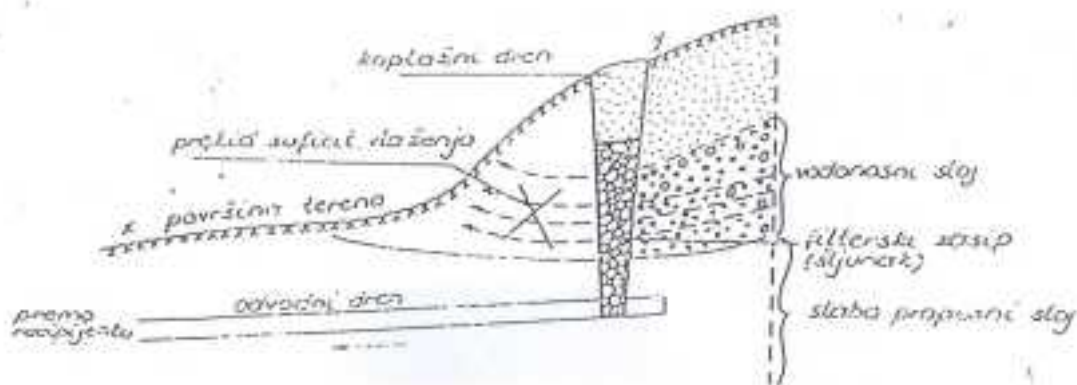


Slika 33. Random sustav cijevne drenaže

Pištavci su povremena, a često puta i trajna izvorišta male izdašnosti. Pretežno se pojavljuju na valovitom reljefu s različitom stratigrafijom (uslojenošću) tla. Tako je tlo u zoni djelovanja pištavaca prekomjerno vlažno, što otežava ili potpuno onemogućava njegovu obradu. Za uspješnu **drenažu pištavaca** potrebno je provesti nekoliko osnovnih predradnji i zahvata:

- ustanoviti i označiti zonu njihovog djelovanja,
- otkriti vodonosni sloj odnosno sustav vodoopskrbe pištavaca,
- zahvatiti odnosno kaptirati navedeni sustav, i
- evakuirati (odvesti) suvišnu vodu izvan ugrožene zone pištavaca.

Slika 34. prikazuje drenažu pištavaca.

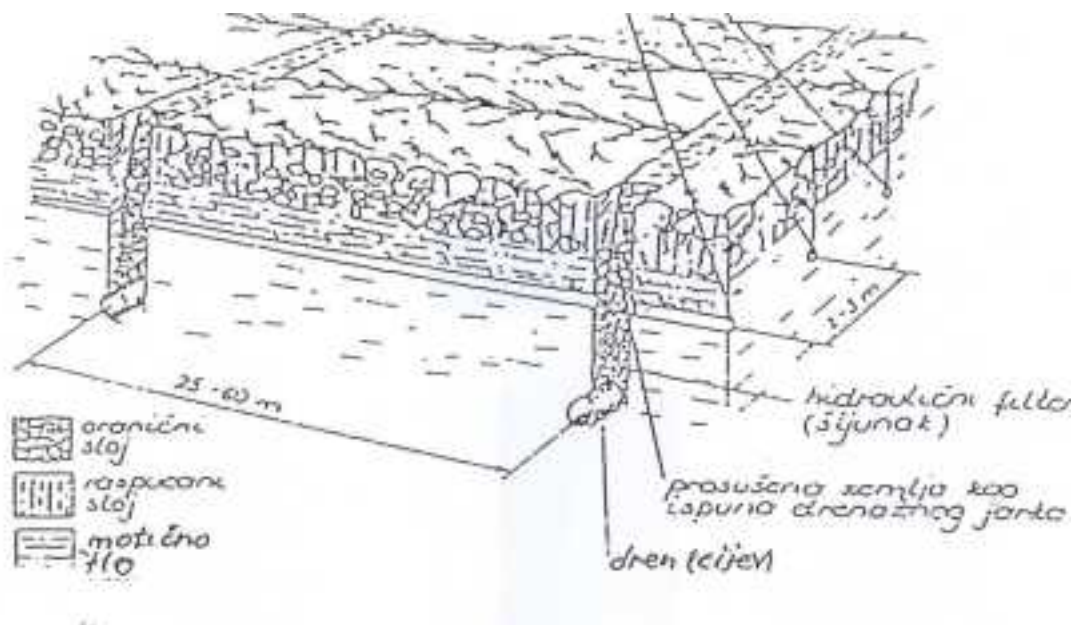


Slika 34. Drenaža pištavaca

8.4.3. Kombinirana odvodnja

Kombinirana odvodnja pogodna je za reguliranje suvišnih stagnirajućih površinskih i potpovršinskih voda, koje se pojavljuju manjim ili većim dijelom godine kod teksturno teških tipova tala (amfiglej, epiglej, pseudoglej, pseudoglej-glej).

Sustav kombinirane detaljne odvodnje nastavlja se na kanalsku mrežu (najčešće na kanale III reda), a sastoji se od cijevne drenaže s filter materijalom i dodatnih mjera (slika 35). Od dodatnih mjera primjenjuje se, pojedinačno ili u kombinaciji, krtična drenaža, vertikalno dubinsko rahljenje ili podrivanje, duboka obrada tla, kalcifikacija, te mjere za popravljjanje strukture tla (kondicioneri, melioracijska organska gnojidba), ovisno o postojećim prilikama i potrebnom pravcu u poboljšanju vodo-zračnih značajki tla.



Slika 35. Kombinirana odvodnja

Hidraulička vodopropusnost teških tala je mala ($k < 16$ cm/dan), te se stoga za razmake drenskih cijevi najčešće koriste njemački normativi (DIN -1185) koji uzimaju u obzir relativni pad terena i količinu oborina (tablica 1).

Tablica 1. DIN – 1185 normativi za određivanje razmaka drenskih cijevi

Pad terena (%)	Razmak cijevi (m)
<0,2	30-35
0,5	35-40
1,0	40-45
2,0	45-50
3,0	50-60
5,0	60-70

Navedeni razmaci drenskih cijevi vrijede za godišnju količinu oborina do 700 mm. Ukoliko je godišnja suma oborina veća od 700 mm, onda se za svako povećanje od 100 mm oborina razmak drenskih cijevi smanjuje za 1,0 m.

Prije početka **izvođenja podzemne cijevne drenaže** (odvodnje) potrebno je površinu označiti i iskolčiti s određenim smjerovima i padovima budućih drenova. Potrebno je da tabla bude prije početka rada grubo poravnana, jer se time olakšava rad stroju (drenopolagaču). U izravnu pripremu rada spada i dovoz cijevi na polje, te disponiranje kolutova uz buduću dren da se smanje prazni hodovi. Isto tako na označena mjesta polažu se završeci (izljevi) i čepovi. Ukoliko se radi s filterom (kontaktnim materijalom) na jednom dijelu rudine uspostavlja se

deponija materijala. U pripremu rada spada i postavljanje laserskog uređaja. U većini slučajeva postavljanje cijevne drenaže počinje od strane otvorenog kanala, i to je ujedno i najveća dubina drena. Po završetku postavljene trase drena na drensku cijev se stavlja završetak (izljev) i na kraju cijevi čep.

Za polaganje cijevi (drenova) na potrebnu dubinu najčešće se upotrebljava laserski uređaj, iako je moguće pravac i pad (nivelman) određivati na klasičan način, što zahtijeva daleko više radne snage. Skoro svaki drenopolagač može imati iznad dijela za polaganje cijevi sanduk (bunker) cca 1-1,5 m³ volumena u koji se stavlja filter materijal (najčešće šljunak), za ugradnju u drenažni jarak (rov) iznad drenažne cijevi.

Stroj za izvođenje cijevne drenaže je drenopolagač, koji se sastoji od vučnog djela i priključka tj. radnog dijela. Najčešće je vučni stroj i pogonski, za radni dio stroja. Uglavnom postoje četiri modifikacije radnog dijela stroja, od kojih će se ovdje obraditi dvije verzije. Jedna je modifikacija kod koje je radni dio u obliku kopačice (frese) kao beskonačni lanac (slika 36.), a kod druge modifikacije je radni dio u obliku pluga s uvlačenjem cijevi bez kopanja (slika 37.).



Slika 36. Drenopolagač - radni dio stroja u obliku frese



Slika 37. Drenopolagač - radni dio stroja u obliku pluga

Stroj, čiji je radni dio kopačica u obliku beskonačnog lanca koristi se uglavnom na srednje teškim i teškim tlima. Rov koji je iskopan na dubinu polaganja cijevi može imati različitu širinu. Danas većina proizvođača nudi stroj za iskop rova širine 12,50-30,00 cm. Ukoliko se u rov polaže filter tada je sa suženim rovom znatna ušteda na filteru (šljunku, stiroporu itd). Osim toga, potreban je manji utrošak snage pogonskog stroja. Prednost ovog tipa stroja je u tome da kopa i rastresa tlo, i automatski je veća propusnost tla za vodu. Poslije iskopa i polaganja cijevi i hidrauličnog filter materijala, rov se zatrpava. Učinak stroja je 250-300 m drenskih cijevi po efektivnom satu.

Drenopolagač sa radnim dijelom u obliku pluga koristi se na srednjim i lakšim tipovima tala. Rov se ne kopa, već radni dio reže tlo i na donjem dijelu ima proširenje pomoću kojega se polažu plastične cijevi. Ovaj tip stroja ima veću brzinu i veći učinak (450-550 m/satu) ali se ne preporuča upotreba na srednje teškim i teškim tlima. Kod sustavne drenaže, gdje se sisala spajaju s hvatalom, ne dopušta se da se na istom mjestu na hvatalu ulijevaju dva sisala. Ovi priključci trebaju se udaljiti barem 0,5 m. Drenaža se izvodi u vremenu kad postoje uvjeti za obradu tla (proljeće-jesen).

U kombiniranoj odvodnji koristi se **filter materijal** koji se prema funkciji dijeli na:

- mehanički filter, i
- hidraulični ili kontaktni filter.

Mehanički filter ima zadaću sprječavanja zamuljivanja drenažnih cijevi česticama sitnog pijeska i krupnog praha. Tla kod kojih treba primijeniti mehanički filter obično, imaju veliki postotak čestica veličine od 20 do 100 mikrona (ϕ 0,02-0,1 cm). Jedan od pokazatelja tendencije zamuljivanja služi i odnos sadržaja gline i praha u tlu.

$$\frac{\%gline(< 2\text{mikrona})}{\%glineiprah(2 - 20\text{mikrona})}$$

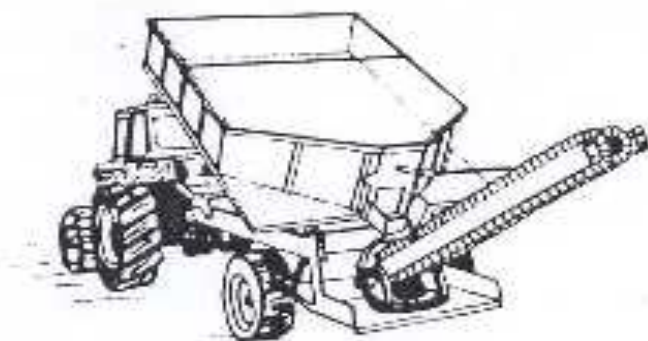
Ako je ovaj odnos ispod 0,5 zamuljivanje može biti problem. Najlakše dolazi do zamuljivanja cijevi u tlu gdje prevladavaju praškasti pijesak, prah ili pjeskoviti prah. Kao mehanički filter materijali najčešće se koriste umjetni omotači oko drenažnih cijevi, kao što su kokosovo vlakno i različite vrste plastika. Drenažne cijevi omotaju se ovim materijalima, a nakon toga polažu strojevima (drenopolagačima) u tlo.

Hidraulički filter ili kontaktni materijal ima ulogu ubrzavanja procjeđivanja vode kroz jarak u drenažnu cijev. Visina hidrauličnog materijala iznad drenažne cijevi treba biti tolika, da omogući spoj podrivanja ili krtačenja s drenažnom cijevi, odnosno, minimum 10 cm iznad izvođenja dodatne mjere (slika 38). Pri korištenju prirodnog filter materijala (šljunak, tucani kamen, otpadci cigle, crijeva i sl.) promjer zrna najčešće u praksi iznosi 5-50 mm.



Slika 38. Minimalna visina hidrauličnog filter materijala iznad krtačne drenaže ili podrivanja

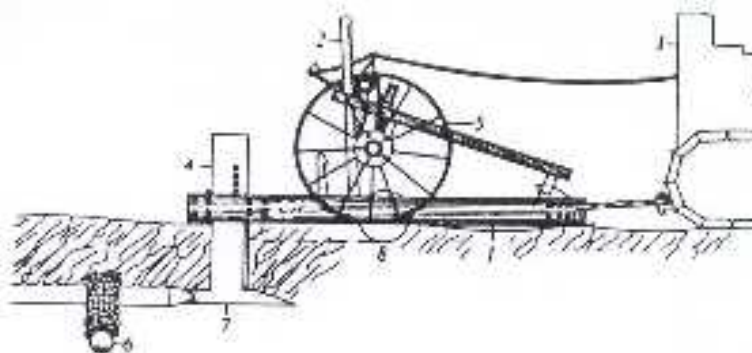
Hidraulički filter materijal može se dodavati automatski pri postavljanju drenažnih cijevi rovokopačem ili se može dodavati naknadno pomoću specijalnih prikolica (slika 39). Vuče ih traktor snage 50-100 kW. Volumen sanduka je najčešće od 3 do 5 m³. Treba naglasiti da je bolje ako prikolica ima dvije osovine, tj. četiri kotača zbog specifičnog pritiska na tlo. U agregatu sa rovokopačem rade obično tri takve prikolicе sa traktorima.



Slika 39. Specijalna prikolica za dodavanje hidrauličnog filter materijala u drenažni jarak

Uz uporabu filter materijala u kombiniranoj odvodnji koriste se i **dodatne (sekundarne) mjere**. Temeljna je zadaća dodatnih ili sekundarnih mjera da omogućiti brži dotok vode do drenske cijevi, odnosno do recipijenta, i to u tlima sa zbijenim podoraničnim horizontom, kao što su pseudoglej i močvarno-glejno, amfiglejno tlo. Prema načinu izvođenja dodatne mjere se dijele na krtičnu drenažu ili krtičenje i vertikalno dubinsko rahljenje ili podrivanje.

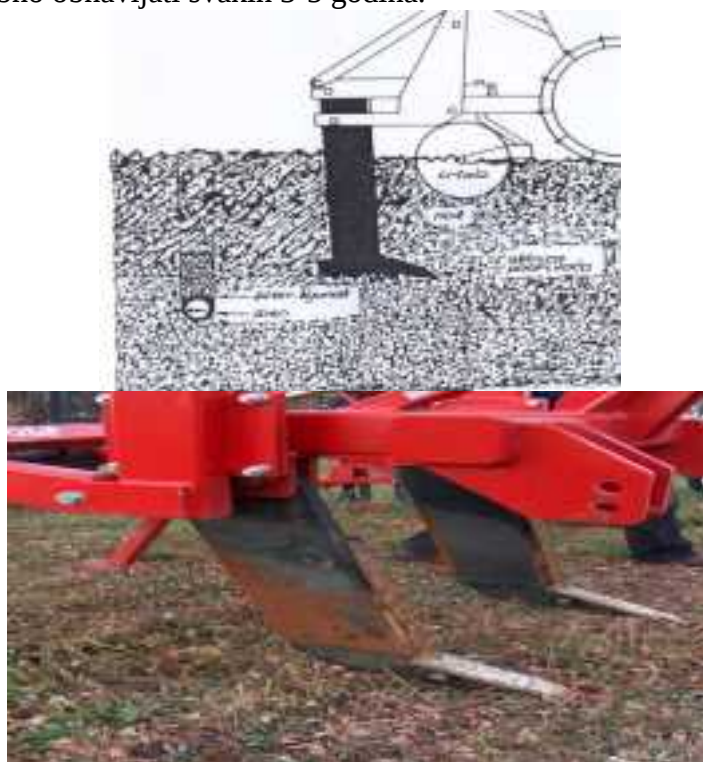
Krtična drenaža je dodatna mjera kojom se stvaraju krtični rovovi kružnog oblika, slični rovu krtice. Izvodi se pretežno na težim, glinastim ili ilovasto-glinastim tlima (više od 35 % čestica gline) pomoću krtičnog pluga (slika 40.). Krtični plug se sastoji od torpeda i metalne kugle. Pri radu torpedo prosijeca tlo, a metalna kugla stvara iza sebe bescijevni prolaz, tzv. krtični rov. Krtična drenaža se izvodi u povoljnim vremenskim uvjetima, a to znači u površinski prosušenom tlu, kako bi bilo dovoljno čvrsto da nosi teret traktora koji izvodi krtičenje, a u dubini dovoljno vlažno (plastično), kako bi nastale krtice bile trajne. Krtična drenaža se izvodi na dubini 0,5 m-0,7 m i na razmaku od 2 do 3 m. Krtični drenovi trebaju imati minimalni pad od 0,5 ‰ do 5 ‰. Optimalni pad je 1-3 ‰. Izvodi se okomito ili koso na cijevnu drenažu. Krtičnu drenažu treba uvijek izvoditi prema prirodnom padu terena, kako bi voda mogla gravitacijom teći krticom do hidrauličnog materijala (šljunka), odnosno dalje do drenske cijevi. Rok trajanja krtične drenaže je najčešće od 3 do 5 godina, što je uzrokovano značajkama tla, klimatskim prilikama i načinima gospodarenja.



KRTIČNI PLUG: 1 - teška greda koja sprječava da neravnine tla pokvare nagib rova; 2 - zupčana letva za podizanje pluga; 3 - traktor; 4 - noga za bušenje krtičnog rova; 5 - transportni kotač; 6 - drenažna cijev koja služi za odvod vode iz krtičnih rovova; 7 - naprava za pravljenje rova; 8 - nož pluga.

Slika 40. Krtični plug

Podrivanje (vertikalno dubinsko rahljenje) je dodatna mjera kojom se rahli i rastresa zbiti podoranični horizont koji je obično praškastog ili ilovastog teksturnog sastava (manje od 35 % čestica gline). Na taj način se stvara velik broj makro pora (pukotina) kroz koje može prolaziti suvišna oborinska voda, koja bi inače stagnirala duže ili kraće vrijeme na površini tla. Cilj je rahljenja učiniti podoranicu manje zbitom i poboljšati kretanje vode i zraka, odnosno produbiti zakorjenjavanje, što poboljšava rast usjeva. Vertikalno dubinsko rahljenje izvodi se podrivačima, bilo klasičnim ili vibrirajućim, koji se sastoje od noževa što paraju ili režu tlo i iza sebe ostavljaju vidljivi trag - nadignutu površinu 15-20 cm (slika 41.). Podrivanje je najučinkovitije izvoditi u sušnim ljetnim mjesecima, ili u jesen kad su tla najsuša i površinski ispucana. Izvodi se u smjeru pada terena ili koso na smjer cijevne drenaže, na dubini kao i krtična drenaža i na razmaku od 1 m do 1,5 m, što ovisi o tipu stroja, tj. da li je klasični ili vibracijski podrivač. Ovisno o značajkama tla, načinu gospodarenja i dr. podrivanje je potrebno obnavljati svakih 3-5 godina.



Slika 41. Shema podrivača i slika radnih tijela podrivača

9. NAVODNJAVANJE

Navodnjavanje je melioracijska mjera koja se može primijeniti u različite svrhe. Pored primjene u svrhu vlaženja tla, koristi se i u svrhu fertirigacije, borbe protiv mraza, fitosanitetske zaštite i desalinizacije. Najviše se koristi protiv suše, odnosno u svrhu vlaženja tla, pa će se u tom smislu i razmatrati. Navodnjavanje je umjetno dodavanje vode u svrhu optimalnog rasta i razvoja uzgajanih biljaka, kada je tijekom vegetacijskog razdoblja nema dovoljno u tlu.

U aridnim područjima stalan je nedostatak vode za normalan uzgoj većine usjeva, pa je navodnjavanje u tim uvjetima nužno. U područjima koja imaju dovoljne količine godišnjih oborina, ali su loše raspoređene u vegetacijskom razdoblju, navodnjavanje je dopunska mjera. Navodnjavanje je nepotrebno samo u humidnim područjima koja imaju dovoljne količine oborina i dobar raspored.

Općenito, može se reći da je navodnjavanje vrlo značajna mjera u suvremenoj biljnoj proizvodnji, posebice na uređenim površinama s reguliranim suvišnim vodama. Pri pravilnoj primjeni navodnjavanja ostvaruje se napredniji uzgoj te sigurniji, viši i kvalitetniji prinosi uzgajanih usjeva.

9.1. Potrebe primjene navodnjavanja i određivanje norme navodnjavanja

Potrebe primjene navodnjavanja razlikuju se pri uzgoju biljaka na poljima i u zaštićenom prostoru. Ako se biljke uzgajaju u staklenicima ili plastenicima (zaštićeni prostor), potrebno ih je tijekom vegetacije stalno navodnjavati. Kad se biljke uzgajaju na poljima (parkovima), potreba navodnjavanja najviše ovisi o klimatskim prilikama.

Postoje različiti kriteriji za određivanje potrebe primjene natapanja pri uzgoju usjeva na otvorenom.

Određeniju ocjenu o potrebi navodnjavanja za pojedine uvjete (područje i pojedine usjeve) može se dobiti na temelju analize raspoložive i potrebne vode za pojedine mjesece i ukupno za vegetacijsko razdoblje.

9.1.1. Norma navodnjavanja

Norma navodnjavanja je nedostatak vode ili ukupna količina vode koju je potrebno dodati navodnjavanjem za vrijeme vegetacijskog razdoblja.

$$\sum Nn = \sum Pv - \sum Rv \text{ gdje su:}$$

Nn - norma navodnjavanja (mm)

Pv - ukupno potrebna voda tijekom vegetacijskog razdoblja (mm)

Rv - ukupno raspoloživa voda tijekom vegetacijskog razdoblja (mm)

Norma navodnjavanja, u stvari je, neto vrijednost. Pri natapanju jedan se dio vode gubi (ishlapljivanje, površinsko otjecanje i filtracija), pa je stoga potrebno neto normu povećati pomoću koeficijenta iskorištenja vode ($\bar{Y}$).

$$Nb = \frac{Nn}{\bar{Y}} \text{ gdje su:}$$

Nb - bruto norma navodnjavanja (mm)

Nn - neto norma navodnjavanja (mm)

Y-koeficijent iskorištenja vode pri navodnjavanju (0,85)

Vrijednosti $\sum P_v$ i $\sum R_v$ dobiju se zbrajanjem mjesečnih potrebnih i mjesečnih raspoloživih količina vode tijekom vegetacije.

Potrebna voda za uzgoj usjeva odgovara vrijednosti evapotranspiracije. Evapotranspiracija je zbroj vode koja se gubi procesima transpiracije i evaporacije s određene površine u određenom vremenu (golo tlo i vodene površine). Ukupna se potrebna količina vode za evapotranspiraciju može odrediti eksperimentalnim (izravnim) ili neizravnim metodama na temelju klimatskih elemenata. Izravni način nije jednostavan zbog opreme i održavanja točno određenih uvjeta tijekom pokusa. Zbog toga se najčešće primjenjuju neizravne metode koje uzimaju u obzir jedan ili veći broj klimatskih elemenata. Postoji nekoliko metoda, međutim najčešće se koriste metode po Blaney-Criddleu i Penman-Monteithu.

Metoda Blaney-Criddlea za određivanje referentne evapotranspiracije (E_{To}) koristi izraz:

$$E_{To} = c \cdot f \text{ gdje su:}$$

E_{To} - referentna evapotranspiracija u mm/ mjesec

c - korekcijski faktor, ovisan o minimalnoj relativnoj vlazi zraka, insolaciji i brzini vjetra

f - dnevni faktor konzumne potrošnje vode

$$f = p (0,46 t + 8) \text{ gdje je:}$$

p - dnevni postotak od ukupnog godišnjeg osunčanja

$$E_{To} = c [p (0.46 t + 8)]$$

t - srednja mjesečna temperatura zraka u $^{\circ}\text{C}$

Referentna evapotranspiracija (E_{To}) definirana je kao vrijednost evapotranspiracije s određene površine, 8-15 cm visokog zelenog travnatog pokrivača jednolične visine, aktivno uzgajane, koja u potpunosti zasjenjuje površinu i ne oskudijeva na vodi.

Za izračunavanje referentne evapotranspiracije postoje dvije mogućnosti: matematička i grafička.

Pri matematičkom izračunavanju E_{To} koeficijent “c” podijeljen je na faktore “a” i “b”.

$$E_{To} = a + b [p (0.46 t + 8)]$$

Faktor “a” može se izračunati pomoću izraza:

$$a = 0.0043 (RH \text{ min}) - n/N - 1.41$$

$RH \text{ min}$ - minimalna relativna vlaga zraka (mjesečna)

n/N - odnos između stvarne dnevne vrijednosti sijanja sunca (sati) i maksimalno mogućeg dnevnog sunčeva svjetla (sati)

Vrijednost koeficijenta “b” može se izračunati ili očitati iz tablice 2, a u funkciji je RH_{min} , n/N i danje brzine vjetra (U_2).

$$b = 0.82 - 0.0041(RH_{\text{min}}) + 1.07(n/N) + 0.066(U_2) + 0.006(RH_{\text{min}}) \cdot (n/N) - 0.0006(RH_{\text{min}}) \cdot (U_2)$$

U_2 -brzina vjetra mjerena na visini od 2 m (m/s)

Ako je brzina vjetra mjerena kroz 24 sata, potrebno ju je preračunati u danju brzinu vjetra. U tom slučaju treba dnevne podatke brzine vjetra pomnožiti s koeficijentom 1,33.

Tablica 2. Vrijednosti koeficijenta „b“ za izračun referentne evapotranspiracije

Vrijednosti za faktor "b" u formuli za izračunavanje ET_0

n/N	RH _{min} %						Danji vjetar m/s
	0	20	40	60	80	100	
0,0	0,64	0,80	0,74	0,64	0,52	0,38	$U_2=0$
0,2	1,03	0,95	0,87	0,76	0,63	0,48	
0,4	1,22	1,10	1,01	0,88	0,74	0,57	
0,6	1,38	1,24	1,13	0,99	0,85	0,66	
0,8	1,54	1,37	1,25	1,09	0,94	0,75	
1,0	1,68	1,50	1,36	1,18	1,04	0,84	
0,0	0,97	0,90	0,81	0,68	0,54	0,40	$U_2=2$
0,2	1,19	1,08	0,96	0,84	0,66	0,50	
0,4	1,41	1,26	1,11	0,97	0,77	0,60	
0,6	1,60	1,42	1,25	1,09	0,89	0,70	
0,8	1,79	1,59	1,39	1,21	1,01	0,79	
1,0	1,98	1,74	1,52	1,31	1,11	0,89	
0,0	1,08	0,98	0,87	0,72	0,56	0,42	$U_2=4$
0,2	1,33	1,18	1,03	0,87	0,69	0,52	
0,4	1,56	1,38	1,19	1,02	0,82	0,62	
0,6	1,78	1,56	1,34	1,15	0,94	0,73	
0,8	2,00	1,74	1,50	1,28	1,05	0,83	
1,0	2,19	1,90	1,64	1,39	1,16	0,92	
0,0	1,18	1,06	0,92	0,74	0,58	0,43	$U_2=6$
0,2	1,44	1,27	1,10	0,91	0,72	0,54	
0,4	1,70	1,48	1,27	1,06	0,85	0,64	
0,6	1,94	1,67	1,44	1,21	0,97	0,75	
0,8	2,18	1,86	1,59	1,34	1,09	0,85	
1,0	2,39	2,03	1,74	1,46	1,20	0,95	
0,0	1,26	1,11	0,96	0,76	0,60	0,44	$U_2=8$
0,2	1,52	1,34	1,14	0,93	0,74	0,55	
0,4	1,79	1,56	1,32	1,10	0,87	0,66	
0,6	2,05	1,76	1,49	1,25	1,00	0,77	
0,8	2,30	1,96	1,66	1,39	1,12	0,87	
1,0	2,54	2,14	1,82	1,52	1,24	0,98	
0,0	1,29	1,15	0,98	0,78	0,61	0,45	$U_2=10$
0,2	1,58	1,38	1,17	0,96	0,75	0,56	
0,4	1,86	1,61	1,36	1,13	0,89	0,68	
0,6	2,13	1,83	1,54	1,28	1,03	0,79	
0,8	2,39	2,03	1,71	1,43	1,15	0,89	
1,0	2,63	2,22	1,86	1,56	1,27	1,00	

Prvi je korak kod izračunavanja ET_0 izračunavanje "f" pomoću izraza:

$$f=p(0.46t+8)$$

Vrijednost “p” za određenu zemljopisnu širinu i mjesec nalazi se u tablici 3

Tablica 3. Srednji postotak dnevne svjetlosti po danu od ukupne godišnje sume (p)

Sj.g.š.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
48	0.20	0.23	0.27	0.31	0.34	0.36	0.35	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19
46	0.20	0.23	0.27	0.30	0.34	0.35	0.34	0.32	0.28	0.24	0.21	0.20
44	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.35	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20

Dnevno trajanje maksimalno mogućeg sunčeva svjetla u satima (N)

Sj.g.š.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
48	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.4	14.3	12.6	10.9	9.3	8.3
46	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.2	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	14.9	14.0	12.6	10.0	9.7	8.9

Za primjer je izračunata vrijednost referentne evapotranspiracije na temelju višegodišnjih klimatskih elemenata (tablica 4).

Tablica 4. Vrijednosti referentne evapotranspiracije izračunate na osnovi višegodišnjih klimatskih elemenata

Prosječne mjesečne i višegodišnja minimalna relativna vlaga zraka (%)

Mj.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
%	61	50	46	41	39	40	38	40	45	52	59	59	48

Prosječne dnevne vrijednosti sijanja sunca (sati)-n

Mj.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
h	1,8	2,7	3,8	5,5	5,8	7,4	8,9	7,4	6,0	3,2	2,2	1,1	1716

Prosječne mjesečne i višegodišnja brzina vjetra (m/s)

Mj.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
m/s	2,3	2,4	2,6	2,6	2,7	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,4

Izračunata referentna evapotranspiracija (ET₀)

Mj.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
T (°C)	0.6	2.4	6.4	11.1	15.7	19.2	22.3	21.4	16.9	11.0	4.6	1.9	11.2
n/N	0.20	0.26	0.32	0.41	0.39	0.47	0.58	0.52	0.47	0.30	0.23	0.13	0.36
U ₂ (m/s)	3.06	3.19	3.46	3.46	3.59	3.33	3.33	3.19	3.19	2.92	3.06	3.06	3.24
RH (%)	61	50	46	41	39	40	38	40	45	52	59	59	48
f	1.66	2.09	2.96	3.93	5.18	5.89	6.20	5.71	4.42	3.13	2.12	1.78	3.76
ET ₀ /dan (mm)	0	0.49	1.48	2.79	4.27	5.27	6.21	5.22	3.33	1.45	0.39	0.07	2.58
ET ₀ /mj (mm)	0	13.7	45.8	83.6	132	158	192	162	100	45	11.7	2.15	946

Grafičko izračunavanje ET₀ uzima u obzir RH_{min}, n/N i U₂, (grafikon 2).

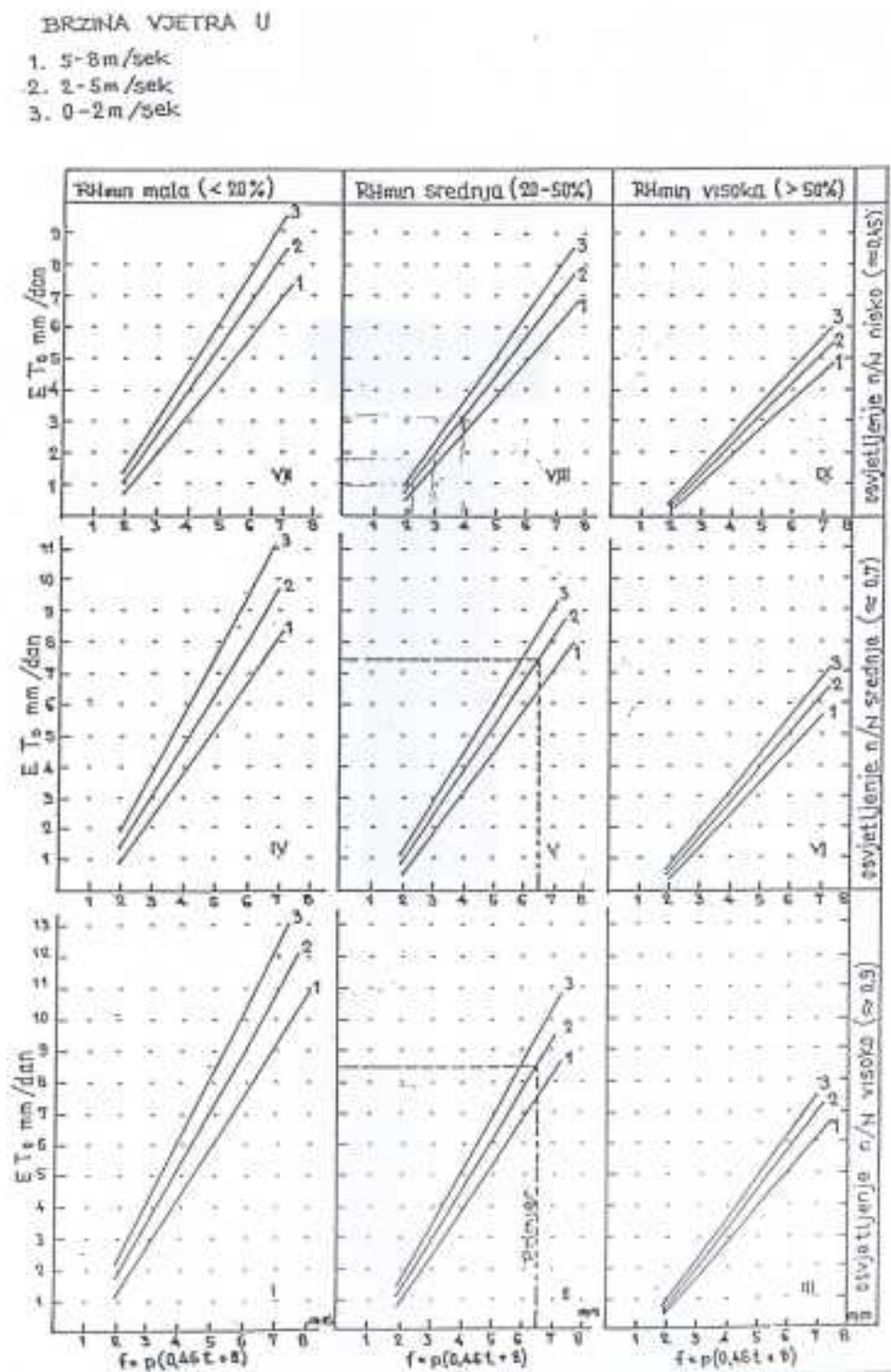
Grafikoni su podijeljeni u tri reda i tri kolone zbog gradacije klimatskih podataka, kako slijedi:

Minimalna relativna vlaga zraka, Rh_{min} (niska <20 %; srednja 20-50 %; visoka >20%)

Relativna insolacija (osunčanje), n/N (niska <0,6; srednja 0,6-0,8; visoka >0,8)

Danja brzina vjetra U_2 (mala <2 m/s; srednja 2-5 m/s; visoka >5 m/s)

Grafikon 2. Nomogram za očitavanje referentne evapotranspiracije



Metoda Penman-Monteith za izračunavanje referentne evapotranspiracije koristi sljedeće klimatske elemente:

- srednje mjesečnu temperaturu zraka ($^{\circ}\text{C}$),
- srednje mjesečnu relativnu vlagu zraka (%),
- srednje mjesečnu brzinu vjetra (m/s), i
- ukupnu mjesečnu insolaciju (h).

Referentna evapotranspiracija može se izračunati prema jednadžbi:

$E_{To} = c [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot F(u) \cdot (e_a - e_d)]$, gdje su:

E_{To} - referentna evapotranspiracija (mm/dan)

C - faktor korekcije dnevnih-noćnih vremenskih uvjeta

W - faktor utjecaja temperature

R_n - neto radijacija kao ekvivalent evaporacije (mm/dan)

$F(u)$ - utjecaj vjetra

$(e_a - e_d)$ - razlika tlaka saturirane vodene pare kod srednje temperature zraka i stvarnog prosječnog tlaka vodene pare u zraku (milibari)

Također se referentna evapotranspiracija može izračunati uporabom računalnog programa «Cropwat».

Raspoloživa voda u tlu, koja je na raspolaganju biljkama tijekom vegetacije, potječe od :

- zalihe vode u tlu na početku vegetacije, odnosno mjeseca,
- oborinske vode, i
- podzemne vode, koja se kapilarno diže do korijenovog područja (rizosfere).

Raspoloživa voda može se izračunati pomoću formule:

$$R = r + h + w \text{ (mm) gdje su:}$$

R - raspoloživa voda za biljku, za određeni mjesec ili vegetacijsko razdoblje (mm)

r - zaliha vode u zoni rizosfere na početku mjeseca ili vegetacijskog razdoblja (mm)

h - korisne (efektivne) oborine, koje je tlo upilo tijekom mjeseca ili vegetacije (mm)

w - podzemne vode raspoložive biljci tijekom mjeseca ili vegetacije (mm)

Treba naglasiti da postoje teškoće za precizno utvrđivanje raspoložive vode. Pogotovo je teško točno odrediti korisne oborine i utjecaj podzemne vode. Budući da sve izmjerene oborine nisu i korisne (efektivne), jer se dio gubi površinskim otjecanjem i perkolacijom u dublje slojeve, a jedan se dio zadržava na biljci (intercepcija) i izravno isparava, uveden je pojam korisnih (efektivnih) oborina. Obično se uzima da je koeficijent iskorištenja oborina (β) 0.85.

Stoga se pod korisnim (efektivnim) oborinama drži onaj dio koji se nalazi u području razvoja korijenovog sustava i biljka ih može koristiti.

Utjecaj podzemne vode na raspoloživu vodu za biljke u pojedinim mjesecima, odnosno tijekom vegetacije, ovisi o njezinoj dubini, dubini korijenja i o klimatskim prilikama.

9.1.2. Potrebe uzgajanog usjeva za vodom (evapotranspiracija)

Za pravilno projektiranje i rješavanje navodnjavanja treba znati potrebu uzgajanog usjeva za vodom.

Potreba usjeva za vodom odgovara stupnju potrebne evapotranspiracije u svrhu optimalnog rasta i razvoja biljke. Evapotranspiracija usjeva može se izračunati pomoću izraza:

$$ET_c = ETo \times k_c \text{ (mm) gdje su:}$$

ETo - evapotranspiracija usjeva (mm)

ETo - referentna evapotranspiracija (mm)

k_c - koeficijent usjeva

Pri izračunavanju evapotranspiracije usjeva važno je poznavati razvojne stadije i njihovo trajanje. U praksi se obično razmatraju četiri razvojna stadija usjeva:

- početni stadij, traje od nicanja pa do pokrivenosti tla od oko 10%
- razvojni stadij, nastavlja se na početni stadij i traje do pokrivenosti tla kulturom od oko 70%-80%
- središnji stadij, nastavlja se na razvojni stadij i traje do početka sazrijevanja, što se obično očituje u promjeni boje lišća ili opadanju lišća
- kasni stadij, traje od kraja središnjeg stadija pa do završetka sazrijevanja, odnosno berbe.

Koeficijenti usjeva za pojedine razvojne stadije daju se u tablici 5.

Tablica 5. Koeficijenti usjeva po razvojnim stadijima

Koeficijenti usjeva k_c

Usjev.	Razvojna faza usjeva					Ukupna vegetacijska sezona
	početna	uzrast	sredina sezone	pri kraju sezone	konj berbe	
duhan	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,2	0,9-1,0	0,75-0,85	0,85-0,95
grah	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,85-0,95	0,25-0,3	0,7-0,8
grahak	0,4-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	1,0-1,15	0,95-1,1	0,8-0,95
krumpir	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,2	0,85-0,95	0,7-0,75	0,75-0,9
kukuruz	0,3-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	0,8-0,95	0,55-0,6	0,75-0,9
kupus	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,9-1,0	0,8-0,95	0,7-0,8
lubenica	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,05	0,8-0,9	0,65-0,75	0,75-0,85
lucerna	0,3-0,4				1,05-1,2	0,85-1,05
luk	0,4-0,6	0,7-0,8	0,95-1,1	0,85-0,9	0,75-0,85	0,8-0,9
pamuk	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,85-1,0	0,65-0,7	0,8-0,9
paprika	0,3-0,4	0,6-0,75	0,95-1,1	0,85-0,95	0,8-0,9	0,7-0,8
pšenica	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,8-0,95	0,2-0,25	0,8-0,9
rajčica	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,95	0,6-0,65	0,75-0,9*
srak	0,3-0,4	0,7-0,75	1,0-1,15	0,75-0,8	0,5-0,55	0,75-0,85
soja	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,15	0,7-0,8	0,4-0,5	0,75-0,9
suncokret	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,7-0,8	0,35-0,45	0,75-0,85
šećerna repa	0,4-0,5	0,75-0,85	1,05-1,2	0,9-1,0	0,6-0,7	0,8-0,9
vinova loza	0,35-0,55	0,6-0,8	0,7-0,8	0,6-0,6	0,55-0,7	0,55-0,75

Napomena:

a) Prva se brojka odnosi na uzgoj u uvjetima visoke vlage zraka ($RH_{min} > 70\%$) i niske vrijednosti brzine vjetrova ($U < 5 \text{ m/s}$). Druga se brojka odnosi na uzgoj u uvjetima niske vlage zraka ($RH_{min} < 20\%$) i jaka vjetrova ($U > 5 \text{ m/s}$).

9.1.3. Bilanca vode u tlu

Sveukupne pojave premještanja te promjene zaliha vode po dubini profila i razmjena vode između tla i drugih prirodnih čimbenika naziva se vodni režim tla. S hidropedološkog i biljno-proizvodnog aspekta to znači ulaz, zadržavanje i gubitak vode iz tla u sustavu tlo-biljka-atmosfera.

Količinski izraz za vodni režim tla je bilanca vode. Bilanca vode u tlu može se odrediti izravnim ili neizravnim načinom. Izravni se način koristi gdje su postavljene lizimetarske postaje, a ako ih nema koristi se neizravan način. Od neizravnih načina obično se koriste empirijske metode. Ima ih nekoliko a ovdje će se razmatrati metoda prema Palmeru. Primjer izračuna bilance vode u tlu prema Palmeru daje se u tablici 6.

Pri izračunavanju bilance vode u tlu, prema metodi Palmera, uzimaju se u kalkulaciju sljedeći podaci: ETo (u izvan vegetacijskom razdoblju), ETc (u vegetacijskom razdoblju), korisne mjesečne oborine, vodne značajke tla (poljski kapacitet tla za vodu - PKv i točka venuća - Tv) i dubina tla. Iz razlike PKv i Tv izračuna se fiziološka aktivna voda - Fav. Zatim se izračuna Fav za dubinu do 10 ili 20 cm (Fav₁) i dubinu od 10 ili 20 cm pa do dubine do koje smo odlučili izračunati bilancu vode (Fav₂). Količina vode u prvoj dubini odgovara zalihi Z₁, a u drugoj zalihi Z₂. Gubitak vode iz prve dubine (G₁) je linearan, dok se gubitak iz druge dubine (G₂) izračunava na sljedeći način:

$$a = ETo/ETc - Oef - G_1$$

$$G_2 = a \cdot Z_2 / PKv_2 \quad * \text{Zaliha vode u potpovršinskom sloju tla iz prošlog mjeseca}$$

Aktualna (stvarna) evapotranspiracija se izračunava na sljedeći način:

$$AE = O + G_1 + G_2$$

Tablica 6. Primjer izračunate bilance vode u tlu prema Palmeru.

Mj.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Uku.
Oef	36.6	33.7	45.6	50.5	60.7	78.1	44.2	72.7	68.2	67.2	74.7	54.3	686.4
ETo/ETc	0	13.7	45.8	83.6	118.8	142.2	172.8	145.8	90	45.0	11.2	2.1	871
G ₁	0	0	0.2	13.8	0	0	0	0	0	0	0	0	
G ₂	0	0	0	4.6	31.4	18.3	29.2	9.8	2.3	0	0	0	
OT	36.6	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.3	84.9
Pu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.2	63.5	52.2	
AE	0	13.7	45.8	69	92.1	96.4	73.4	82.5	70.5	45	11.2	2.1	601.7
Z ₁	14	14	13.8	0	0	0	0	0	0	14	14	14	
Z ₂	126	126	126	121.4	90	71.7	42.5	32.7	30.4	38.6	102.1	126	
Zuk	140	140	139.8	121.4	90	71.7	42.5	32.7	30.4	52.6	116.1	140	
ETo/ETc - AE	0	0	0	14.6	26.7	45.8	99.4	63.3	19.5	0	0	0	269.3

$$PKv = 35 \text{ vol\%} = 350 \text{ mm (do 1 m dubine)} \quad PKv_1(0-10 \text{ cm}) = 35 \text{ mm}; \quad PKv_2(10-100 \text{ cm}) = 315 \text{ mm}$$

$$Tv = 21 \text{ vol\%} = 210 \text{ mm (do 1 m dubine)} \quad Tv_1(0-10 \text{ cm}) = 21 \text{ mm}$$

$$Fav = PKv - Tv = 350 - 210 = 140 \text{ mm} \quad Fav_1(0-10 \text{ cm}) = 14 \text{ mm}$$

$$Fav = Zuk = 140 \text{ mm (do 1 m dubine)} \quad Fav_1 = Z_1 = 14 \text{ mm}; \quad Z_2(10-100 \text{ cm}) = 126 \text{ mm}$$

Tumač:

PKv - poljski kapacitet tla za vodu, mm

Tv - trenutna vlažnost tla za vodu, mm

Fav - fiziološki aktivna voda tla, mm

Oef - korisne (efektivne) oborine, mm

Eto - referentna evapotranspiracija, mm

ETc - evapotranspiracija kulture, mm

G₁ - gubitak vode iz površinskog sloja tla (0-10 cm), mm

G₂ - gubitak vode iz potpovršinskog sloja tla (10-100 cm), mm

OT - otjecanje vode iz tla (**višak vode**), mm

Pu - punjenje zaliha tla vodom, mm
AE - stvarna (aktualna) evapotranspiracija, mm
Z₁ - zaliha vode u površinskom sloju tla (0-10 cm), mm
Z₂ - zaliha vode u potpovršinskom sloju tla (10-100 cm), mm
Zuk - ukupna zaliha fiziološki aktivne vode u tlu (0-100 cm), mm
ET_o/ET_c-AE=**manjak vode** u tlu, mm

9.2. Koristi i problemi navodnjavanja

Voda je, uz druga četiri vegetacijska čimbenika, toplinu, svjetlost, hranjive tvari i zrak peti vegetacijski čimbenik, nezamjenjiv za rast i razvoj biljaka. Navodnjavanjem se kao melioracijskom mjerom kompenzira manjak oborina te se na taj način postižu mnogostruke koristi, ali se uz nestručno navodnjavanje mogu stvoriti i određeni problemi.

Koristi navodnjavanja ponajprije proizlaze iz vode kao vegetacijskog čimbenika. Naime, za biljku i tlo voda ima ova značenja:

- sastavni je dio biljke,
- regulira režim ishrane biljke (otapajući hranjive tvari u tlu),
- regulira toplinski režim biljke,
- posreduje u procesu fotosinteze, i
- pomaže razvoju mikroflore.

Osim toga, navodnjavanje kao melioracijska mjera donosi i druge koristi:

- utječe na mikroklimu prizemnog sloja atmosfere,
- utječe na temperaturu tla i biljke,
- utječe na fizikalne, kemijske i biološke procese u tlu,
- omogućava dvije žetve, i
- popravlja socijalno stanje stanovništva, dajući mogućnost zapošljavanja.

Navedene koristi, koje se postižu navodnjavanjem, utječu na visinu i kvalitet priroda uzgajanih usjeva, što i je glavni cilj ove melioracijske mjere.

Problemi navodnjavanja mogu nastupiti ukoliko se navodnjavanje izvodi nestručno te se voda dodaje, bez prethodnog poznavanja potreba vode. Svi problemi koji mogu nastati, mogu se svrstati u četiri skupine:

- ispiranje hranjiva i osiromašivanje obradivog sloja tla,
- pogoršanje fizikalnih svojstava i erozija tla,
- zamočvarivanje tla, i
- zaslanjivanje tla.

Slike 42. i 43. prikazuju probleme koje može uzrokovati nestručno navodnjavanje.



Slika 42. Problem erozije tla prouzročene vodom



Slika 43. Izgled biljke u zaslanjenim i nezaslanjenim uvjetima

9.3. Dodavanje vode pri navodnjavanju

Dodavanje vode pri navodnjavanju vrlo je značajno u praksi. Unutar dodavanja vode temeljna su dva elementa: **obrok navodnjavanja** i **trenutak početka navodnjavanja**.

9.3.1. Obrok navodnjavanja

Količina vode koja se dodaje jednim navodnjavanjem (mm ili m^3/ha), naziva se obrok navodnjavanja. To je zapravo dio norme navodnjavanja. Obrok navodnjavanja ovisi o dubini tla kojeg se želi navlažiti, značajkama tla, a poglavito o količini vlage u tlu prije navodnjavanja. Dubina tla koju treba navlažiti ovisi o dubini korijenja, odnosno o uzgajanom usjevu i njegovom stadiju razvoja. Nije, međutim, potrebno navlažiti tlo do dubine do koje dopire korijenje, već samo aktivni sloj tla u kojem se nalazi glavna masa korijenja. Na lakšim (pjeskovitim) tlima potrebno je dodavati manji obrok navodnjavanja i češće nego na težim

(glinastim) tlima. Ali, u konačnici treba dodati potrebnu količinu vode bez obzira na tlo na kojem se biljke uzgajaju.

Budući da tlo treba zasititi do poljskog vodnog kapaciteta, za određivanje obroka navodnjavanja treba poznavati vlažnost tla prije navodnjavanja. Već prema tome da li se navedene vrijednosti izražene u % mase ili volumnim %, u praksi se može obrok svakog navodnjavanja odrediti na dva načina:

$$O=10 \times v_t \times h (PK_v-T_v), \text{ gdje su:}$$

O - obrok navodnjavanja (mm)

V_t - volumna gustoća tla (g/cm^3)

h - dubina vlaženja tla (m)

PK_v - Poljski vodni kapacitet tla (% mase)

T_v - točka venuća (% mase)

Ako su PK_v i T_v izraženi u vol.%, a ne u % mase, koristi se izraz:

$$O=10 \times h (PK_v-T_v)$$

9.3.2. Trenutak početka navodnjavanja

Trenutak početka navodnjavanja jedan je od najznačajnijih elemenata u praktičnoj primjeni navodnjavanja. Ako se trenutak početka navodnjavanja određuje stihijski, neminovno dolazi do neplanskog i neracionalnog dodavanja vode, što može izazvati štetne posljedice.

U praksi se trenutak početka navodnjavanja određuje na nekoliko načina, a ovdje će se opisati dva najčešća:

- prema određenom turnusu navodnjavanja, i
- prema stanju vlažnosti tla

9.3.2.1. Određivanje početka navodnjavanja prema turnusu navodnjavanja

Turnus navodnjavanja predstavlja vremensko razdoblje (u danima) između dva navodnjavanja.

$$T=\frac{O}{Ud} \text{ gdje su:}$$

T-turnus navodnjavanja (dan)

O-obrok navodnjavanja (mm)

Ud-dnevni utrošak vode (mm/dan)

Dnevni se utrošak vode temelji na poznavanju vrijednosti evapotranspiracije. Dobije se dijeljenjem te vrijednosti (za određeni mjesec) s brojem dana tog mjeseca. Određivanje trenutka početka navodnjavanja ovom metodom pogodno je samo za aridna područja (gdje su neznatne količine prirodnih oborina) i za uzgoj usjeva u zaštićenom prostoru (u tlu se voda osigurava jedino navodnjavanjem). Izvan tih prilika, pri uzgoju usjeva u polju (na otvorenom), moguće je primijeniti *modificirani turnus navodnjavanja*. Modifikacija turnusa ovisi o količini prirodnih oborina u razdoblju između dva navodnjavanja, odnosno u vremenu izračunatog turnusa. U praksi navodnjavanja najčešće se turnus odgađa za cijelo razdoblje,

ukoliko unutar izračunatog turnusa padne $\frac{2}{3}$ i više oborina od izračunatog obroka. Ako padne $\frac{1}{3}$ - $\frac{2}{3}$ oborina od izračunatog obroka, turnus se odgađa za polovicu razdoblja. Pri oborinama manjim od $\frac{1}{3}$ izračunatog obroka, navodnjavanje se ne odgađa, već se obavlja po utvrđenom turnusu.

9.3.2.2. Određivanje trenutka početka navodnjavanja prema stanju vlažnosti tla

Ovaj se način najviše koristi u praksi. Za primjenu racionalnog navodnjavanja potrebno je poznavati vrijednosti lentokapilarne vlažnosti i poljskog vodnog kapaciteta, te obavljati mjerenje vlažnosti u određenom sloju, odnosno u dubini u kojoj se nalazi najaktivnija masa korijenovog sustava. Pravilno je mjeriti po horizontima (ako se razlikuju) ili na svakih 20 cm unutar dubine vlaženja. Na temelju prosječne vrijednosti mjerenja na različitim dubinama, u najmanje tri ponavljanja, određuje se trenutak početka natapanja te obračunava obrok natapanja.

Postoji više načina mjerenja vlažnosti tla. Svi načini se mogu uvrstiti u dvije skupine:

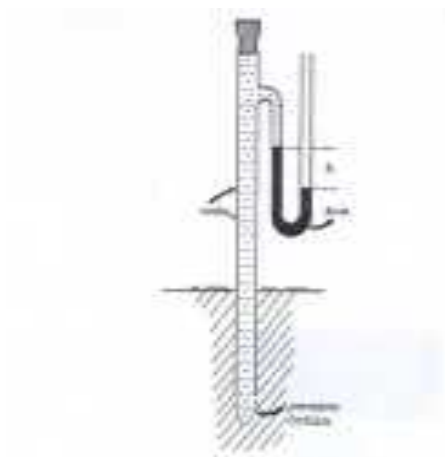
- laboratorijsko mjerenje, i
- mjerenje na terenu.

Laboratorijsko mjerenje vlažnosti tla (gravimetrijska metoda) temelji se na uzimanju uzoraka tla u kojima se u laboratoriju određuje vlažnost. Po ovoj metodi sadržaj vlage u tlu odredi se na način da se uzorak tla u laboratoriju suši u termostatu na temperaturi od 105°C do stalne težine. Količina vode dobije se iz razlike u težini između vlažnog i suhog tla. Vlažnost se izražava u masenim postotcima u odnosu na apsolutno suho tlo. Množenjem masenih postotaka s volumnom gustoćom dobiju se *volumni postotci* vode u tlu. Uzroci tla uzeti na terenu moraju se pažljivo pohraniti da ne dođe do gubitka vode. Nije preporučljiv duži transport, a određivanje se mora vršiti odmah po dopremanju uzoraka u laboratorij. Mjerenje u laboratoriju daje najtočnije rezultate ali je ovaj način dosta spor i nepraktičan.

Mjerenje vlažnosti tla izravno u polju obavlja se instrumentima. Ovim je načinom mjerenje jednostavnije i brže a time se ostvaruje i pravodoban početak navodnjavanja.

Postoje instrumenti za izravno (direktno) i neizravno (indirektno) mjerenje vlažnosti tla.

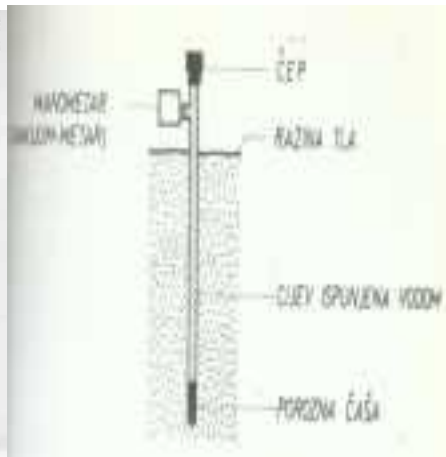
Od instrumenata za izravno mjerenje u praksi se najviše koriste tenziometri, a ponekad se obavljaju i neutronska mjerenja. Za indirektno mjerenje koristi se elektrometrijska metoda. *Mjerenje tenziometrom* obavlja se na temelju mjerenja negativnog tlaka vode u tlu – tenzije ili sukcije, odnosno sisajuće sile tla. Danas se uglavnom upotrebljavaju tenziometri s vakuum mjerilom, a ranije su u uporabi bili *tenziometri sa živom*, koji se sastoje od staklene ili metalne cijevi sa živinim manometrom u obliku slova „U“, te od porozne keramičke čašice (slike 44. i 45.).



Slika 44. Tenziometar sa živom

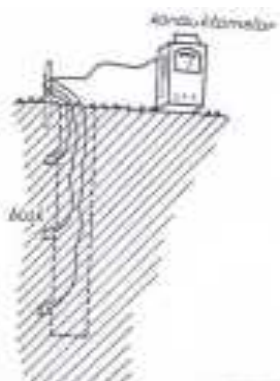


Slika 45. Tenziometar s vakuummetrom



Tenziometrima s vakuummetrom može se izmjeriti tenzija vlage u tlu do 1,0 bara. Postavljaju se u tlo tako da porozna čašica bude na dubini na kojoj želimo mjeriti vlažnost. Obično se stavlja na svakih 20 cm dubine aktivne zone korijenovog sustava, odnosno dubine vlaženja tla navodnjavanjem. Prilikom postavljanja tenziometra treba postići da porozna čašica i tlo budu u bliskom kontaktu, tj. da između njih nema poroznog prostora. Zbog toga je najbolje tenziometre postavljati dok je tlo vlažno. Kada je tenziometar postavljen, u cijev se do vrha nalijeva prokuhana destilirana voda i cijev se hermetički zatvori. Kada se tlo suši, u njemu se tenzija (sukcija – sisajuća sila tla) povećava, te voda izlazi iz čašice tenziometra u tlo. Negativni tlak vode u tlu (tenzija ili sukcija) registrira se na manometru instrumenta. Tenziometri ne mogu mjeriti vlažnost u sušim uvjetima (što je veliki nedostatak), nego samo tenziju do 1,0 bara, tj. lako pristupačnu vodu koja je za biljke najkorisnija. Kada manometar pokaže da je tenzija vlage u tlu blizu 0,9 bara, tlo treba navodnjavati. U melioracijskoj praksi tenziometri se koriste za određivanje trenutka početka navodnjavanja i za praćenje dinamike sadržaja vlage u tlu.

Mjerenjem pomoću električne provodljivosti, vlažnost tla mjeri se neizravno. Aparatura se sastoji od instrumenta te blokova s elektrodom. Postoji više tipova instrumenata, kao i više vrsta blokova. Danas se najviše koristi instrument konduktometar s izvorom električne energije iz baterije ili generatora. Od blokova se koriste gipsani, najlon i fiberglas te mrežaste elektrode od nehrđajućeg čelika. Ovom se metodom mjeri elektroprovodljivost tla (otpor toku električne struje), koja ovisi o stanju njegove vlažnosti. U otvorene bušotine (sondom ili lopaticom), postavlja se blok na određenu dubinu (slika 46.).



Slika 46. Blokovi u tlu

Najbolje je blokove postavljati na svakih 20 cm, do dubine glavne mase korijena (rizosfere). Oko svakog bloka sabije se tlo, radi što boljeg kontakta između bloka i tla. Prilikom zatrpavanja bušotine treba paziti da se svaki sloj vrati na svoje mjesto. U postavljenom bloku nalazi se elektroda od nehrđajućeg čelika. Od elektrode, odnosno bloka, idu izolirani vodovi do površine terena, označeni brojevima i zavezani za čvršći predmet (najčešće obični kolčić).

Zakopani blok postaje sastavni dio tla i prima, odnosno gubi vodu ovisno od stanja vlažnosti tla. U svakom slučaju, konačno će vlažnost tla i bloka postati izjednačena. Stvarno stanje vlažnosti u tlu može se saznati ako se mjeri otpor električne struje u bloku. Za mjerenje otpora služi konduktometar nakon što se spoji sa žicom pojedinog bloka. Na konduktometru može biti skala različitih mjernih jedinica. Najčešće se koriste instrumenti koji imaju podjelu od 0 do 100 za očitavanje fiziološki aktivne vlage u tlu u postocima. Ako skala instrumenta pokazuje vrijednost 100 tlo je saturirano fiziološki aktivnom vlagom, a takvo stanje vlažnosti tla odgovara vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta. Kada kazaljka instrumenta pokazuje vrijednost 0, u tlu nema pristupačne vode za biljku, odnosno tlo je kod vlažnosti venuća. Navodnjavati treba kad su vrijednosti na skali od 30 do 60, ovisno o značajkama tla i uzgajanom usjevu.

Kod instrumenata koji pokazuju otpor vodljivosti električne struje u tlu (izražen u log vrijednostima oma ili kilo oma), potrebno je za svako tlo i za svaku dubinu u kojoj je postavljen blok konstruirati krivulju za očitavanje sadržaja vlage. Mjerenje sadržaja vlage u tlu ovom metodom ne može se vršiti u slanim tlima, jer je električna vodljivost funkcija ne samo vlažnosti, nego i sadržaja slobodnih iona u otopini tla.

Neutronska metoda se zasniva na emisiji neutrona iz odgovarajućeg izvora (radij D). Neutroni se emitiraju velikom brzinom i u sudaru s manjim atomima kao što je vodik u vodi tla oni mijenjaju pravac kretanja, gube dio energije i usporavaju kretanje. Usporeni neutroni određuju se uporabom srebrne folije koja tako postaje radioaktivna. Na osnovi stupnja radioaktivnosti koja ovisi o broju primljenih neutrona određuje se vlažnost tla.

Metoda je pouzdana, ali relativno komplicirana i zahtijeva oprez u radu zbog opasnosti od zračenja. Nedostatak je metode što se određivanje ne može vršiti u slojevima tla plićim od 20 cm, zbog emisije neutrona u atmosferu. Osim toga, cijena neutronske mjerače je vrlo visoka. To su osnovni razlozi ograničenog korištenja neutronske mjerače.

Reflektrometrijski uređaj (reflektrometrijska metoda) odašilje elektromagnetske valove u tlo i registrira njihov povrat (slika 47.). Glavno ograničenje pri mjerenju predstavljaju pukotine koje se mogu javiti kod postavljanja uređaja ili pri stezanju tla tijekom sušnog razdoblja.



Slika 47. Reflektrometrijski uređaj za mjerenje vlažnosti tla

9.4. Izvor i kakvoća vode za navodnjavanje

Voda za navodnjavanje može se koristiti iz nadzemnih vodotoka, prirodnih i umjetnih jezera te bunara (podzemna voda), a ponekad je u uporabi i otpadna voda. Voda se od izvora do navodnjavane površine dovodi gravitacijski ili crpnim sustavom, što ovisi od međusobnog položaja izvora vode i navodnjavane površine, a razvodi se do parcela otvorenim kanalima ili cjevovodima. Temeljne su pretpostavke za navodnjavanje da postoje dovoljne količine vode i da je ona zadovoljavajućih kemijskih, fizikalnih i bioloških značajki.

Voda u prirodi ima više ili manje otopljenih soli i suspendiranih čestica tla koje mogu nepovoljno utjecati na tlo, biljke i opremu za navodnjavanje. Od **kemijskih značajki** najčešće se razmatraju sljedeće: ukupne soli, reakcija (pH), otopljeni anioni i kationi.

Koncentracija soli, odnosno iona u vodi određuje se kemijskim analizama, a kakvoća vode određuje se prema toj koncentraciji. Najčešće se kakvoća vode procjenjuje prema vrijednostima irigacijskog koeficijenta i klasifikaciji koju daje US Salinity Laboratory.

Irigacijski koeficijent određuje se prema količini natrija (Na^+), klora (Cl^-) i sulfat-iona (SO_4^{2-}). Ako je irigacijski koeficijent > 18 , voda je dobra za natapanje, 18-6 voda je zadovoljavajuće kakvoće, 5.9-1.2 voda je nezadovoljavajuće kakvoće i < 1.2 voda je loša. Prema metodi koju daje US Salinity Laboratory određuje se električna vodljivost (EC) vode i koeficijent adsorpcije natrija u tlu. Električna vodljivost služi kao indikator koncentracije soli u tlu, a koeficijent adsorpcije natrija (SAR-Sodium Adsorption Ratio) je indikator relativne aktivnosti natrija i ukazuje na opasnost od alkalizacije tla. Električna vodljivost vode izražava se u dS/m, a koeficijent adsorpcije natrija u mmol.ekv./l. U ovoj klasifikaciji razlikuju se vode prema koncentraciji soli (prema opasnosti od zaslanjivanja) i prema koeficijentu adsorpcije natrija (opasnost od alkalizacije), pa se upotrebljivost vode za natapanje određuje prema oba kriterija. Vode koje sadrže koncentraciju soli do 1 dS/m i koeficijent adsorpcije natrija do 15 m.e./l mogu se bez ograničenja koristiti u natapanju.

Od **fizikalnih značajki vode** za navodnjavanje najvažnije su sljedeće: temperatura vode, količina krutih čestica tla, mutnoća, boja, miris i okus. Niska temperatura negativno djeluje na razvoj biljaka, na mikrobiološke procese u tlu i na hranidbu biljaka. Minimalna temperatura vode za navodnjavanje je 19 °C, a maksimalna 34 °C. Utjecaj krutih čestica ovisi o njihovom promjeru i količini. Nepoželjne su čestice promjera od 0,10 mm do 0,15 mm, zbog lakšeg taloženja u uređajima za dovod i raspodjelu vode.

Od **bioloških značajki vode** za navodnjavanje važnije su sljedeće: stupanj saprobnosti, mikrobiološki pokazatelji i stupanj otrovnosti (toksičnosti).

U tablici 7. daju se neki pokazatelji kakvoće vode i mogućnost njene primjene u navodnjavanju.

Tablica 7. Neki pokazatelji kakvoće vode prema US Salinity Laboratory

Vodič za tumačenje kvaliteta vode za navodnjavanje				
Moguća problema	Jedinica mjere	Ograničujuće primjere		
		Solna	Slabo do umjerena	Izvršno
Fizikalni				
Elektricitet (EC _e)	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Ukupni otopljivi soli	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltracija - S ₁ (S ₁ = 100 - (EC _e - 0,7) / 0,7) - S ₂ (S ₂ = 100 - (EC _e - 3,0) / 0,7)				
SAR = 0 - 5 i EC _e =		< 0,7	0,7 - 1,2	< 0,2
SAR = 5 - 10 i EC _e =		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
SAR = 10 - 15 i EC _e =		> 1,5	1,5 - 0,5	< 0,5
SAR = 15 - 20 i EC _e =		> 2,0	2,0 - 1,5	< 1,5
SAR = 20 - 30 i EC _e =		> 3,0	3,0 - 2,0	< 2,0
Fizikalno-kemijski				
NaCl (Na) - površinsko navodnjavanje	SAR	< 5	5 - 9	> 9
NaCl (Na) - navodnjavanje klijetom	me/l	< 5	> 5	-
Clor (Cl) - površinsko navodnjavanje	me/l	< 4	4 - 10	> 10
Clor (Cl) - navodnjavanje klijetom	me/l	< 5	> 5	-
Bor (B)	me/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Ostalo				
Ca ²⁺ (Ca) > 50	mg/l	< 5,0	5,0 - 10,0	> 10,0
SO ₄ ²⁻ (SO ₄) > 50	mg/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
Ostalo (kao klorid) (mmol klorida)				
pH		neutralna vrijednost 6,5 - 8,5		

9.5. Temeljni elementi za projektiranje navodnjavanja

Pri izradi projekta navodnjavanja za određeno područje i uzgajani usjev, postoji pravilan slijed zahvata :

1. Potrebno je, na temelju razrade klimatskih elemenata, odrediti potrebu primjene navodnjavanja. Naime, na temelju prosječnih višegodišnjih vrijednosti klimatskih elemenata za uzgajani usjev određuje se ukupni nedostatak vode i nedostatak vode po mjesecima.

2. U slučaju postojanja potrebe navodnjavanja, pristupa se istraživanju tla na projektnom području. Istraživanja tla uključuju terenski i laboratorijski rad. Terenski rad podrazumijeva kopanje profila tla, njegov opis i uzimanje uzoraka tla u porušenom i neporušenom stanju. Potom se u laboratoriju određuju fizikalne značajke tla (mehanički sastav tla, stabilnost strukturnih agregata, volumna gustoća i gustoća čvrstih čestica, porozitet te kapacitet tla za zrak, retencijski kapacitet tla za vodu ili vrijednost pF pri tlaku od 0,33 bara, pF kod 6,25 bara i 15 bara, te infiltracijska sposobnost tla.

3. Na temelju ovih fizikalnih značajki tla utvrđuje se sposobnost tla za primjenu navodnjavanja, a zatim se određuju elementi dodavanja vode, obrok navodnjavanja i trenutak početka navodnjavanja.

4. Trajanje navodnjavanja se dobije temeljem obroka navodnjavanja i inteziteta.

$$t = \frac{O}{I} \text{ gdje su:}$$

t - trajanje navodnjavanja (sati)

O - obrok navodnjavanja (mm)

I - intezitet navodnjavanja (mm/sat)

5. Hidromodul navodnjavanja je značajan element u projektiranju, posebno pri dimenzioniranju sustava. Može se odrediti na više načina, a temeljem toga razlikuje se: neto hidromodul, radni hidromodul i stvarno radni hidromodul.

$$H_{sr} = \frac{O}{T \cdot t} \text{ gdje su:}$$

H_{sr} - stvarno radni hidromodul navodnjavanja (l/s/ha)

O - obrok navodnjavanja (l/ha)

T - turnus navodnjavanja (dani)

t- radno vrijeme navodnjavanja (sekunde)-(br. sati x 3.600)

6. Turnus navodnjavanja je vrijeme između dva navodnjavanja u danima.

$$T = \frac{O}{U_d} \text{ gdje su:}$$

T - turnus navodnjavanja (dani)

O - obrok navodnjavanja (mm)

U_d - dnevni utrošak vode (mm/ dan)

Dnevni utrošak vode dobije se dijeljenjem evapotranspiracije s brojem dana u mjesecu.

7. Broj navodnjavanja se tijekom vegetacijskog razdoblja dobije temeljem norme navodnjavanja i obroka navodnjavanja.

$$\text{Br. navodnjavanja} = \frac{N_n}{O} \text{ gdje su:}$$

N_n - norma navodnjavanja ili ukupni nedostatak vode tijekom vegetacije (mm)

O - obrok navodnjavanja (mm)

8. Projektne potrebe količine vode, koje treba osigurati, određuju se za vegetacijsko razdoblje i najveću mjesečnu potrebu.

Temeljem navedenih elemenata pristupa se rješavanju izvora vode i tehničkih elemenata projekta navodnjavanja.

9.6. Metode, načini i sustavi navodnjavanja

Budći da je navodnjavanje vrlo stara mjera, u praksi se do sada primjenjivao veći broj metoda, načina i sustava navodnjavanja. Danas se svi sustavi i načini mogu svrstati u sljedeće metode:

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

Unutar svake od navedenih metoda postoji manji ili veći broj načina navodnjavanja, koji se dijele u sustave (razlikuju u tehnici, primjeni i drugim specifičnostima). Koju od navedenih metoda, a unutar njih koji način, odnosno sustav treba izabrati za praksu ovisi o

više čimbenika, kao što su: uzgajani usjev, značajke tla, veličina i oblik površine, konfiguracija terena, klimatski uvjeti, izvor vode, financijska ulaganja i troškovi održavanja.

9.6.1. Navodnjavanje kišenjem

Budući da se ovom metodom navodnjavanja voda raspoređuje po površini tla u obliku prirodne kiše, nastali su nazivi kišenje, umjetna kiša i orošavanje. Ova metoda primjenjuje se za sve uzgajane usjeve i to joj je osnovna prednost u odnosu na ostale.

Moguće je izdvojiti, uz ovu, još sljedeće prednosti: može se koristiti u različitim topografskim uvjetima, pripremni radovi na tlu su nepotrebni ili minimalni, ne zauzima obradivu površinu, ne smanjuje korištenje mehanizacije, pruža mogućnost ekonomičnog korištenja raspoložive vode zbog njenog točnog dodavanja, tlo je manje izloženo pogoršanju fizikalnih značajki, postoji mogućnost navodnjavanja tek zasijanih površina i mladih nasada, biljke efikasnije koriste hranjiva iz tla i moguća je primjena fertirigacije.

Pored niza prednosti, ovaj način navodnjavanja ima i nedostataka, koji su uglavnom slijedeći: neravnomjerna je raspodjela vode pri jakom vjetru, poteškoće pri prijenosu cijevi nakon navodnjavanja i u nasadima s većim uzrastom, može pogodovati nekim biljnim bolestima povećanjem vlage zraka, gubici vode ishlapljivanjem mogu biti veći, pa ih treba uzeti u obzir. Unutar metode navodnjavanja kišenjem do danas se razvio veći broj načina i sustava. Unutar ove metode razvili su se sljedeći načini navodnjavanja kišenjem:

- klasični način,
- navodnjavanje samohodnim uređajima, i
- kišenje hidromaticima

9.6.1.1. Klasični način navodnjavanja kišenjem

Pri navodnjavanju klasičnim načinom, uređaj kišenja zahvaća vodu iz izvora, zatim je tlači kroz cijevi i na kraju je preko rasprskivača u obliku prirodne kiše raspodjeljuje po površini koju navodnjava. Klasični način kišenja ima tri temeljna sustava:

- prenosivi sustav,
- polustabilni sustav, i
- stabilni sustav.

Svaki od ovih sustava sastoji se od slijedećih dijelova: izvora vode, usisne cijevi, crpnog agregata (motor i crpka), glavnog cjevovoda, kišnih krila i rasprskivača, te pojedinih dijelova koje skupno nazivamo armaturom (ventili, zasuni, manometri, hidranti, koljena i dr).

U prenosivom sustavu svi dijelovi su prenosivi, a cijevi se spajaju brzospajajućim spojkama. Dobra je strana ovog sustava što se njime mogu prenošenjem navodnjavati veće površine. Međutim, pri prenošenju dijelova sustava gaze se nasadi i tlo, a gubi se i vrijeme, pa je to njegov značajan nedostatak.

Polustabilan sustav ima stabilni uređaj za zahvaćanje vode i glavni cjevovod. Kišna su krila i rasprskivači prenosivi. Glavni cjevovod je najčešće postavljen u tlu, te na površinu tla izlaze samo hidranti na koje se spajaju kišna krila. Ovakav polustabilni sustav drži se ekonomičnijim od prenosivog i stabilnog sustava.

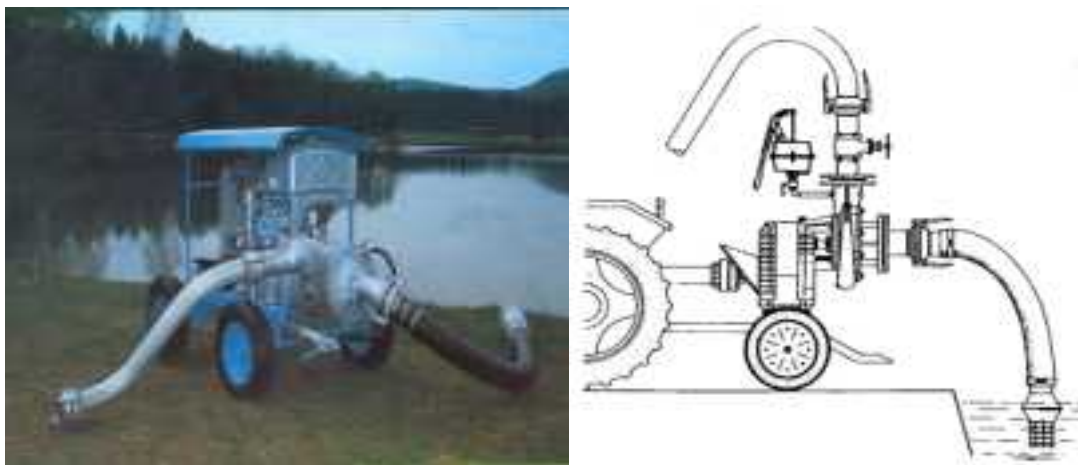
Stabilni sustav ima sve dijelove stabilne. Rasprskivači se priključuju na cijevnu mrežu koja je najčešće postavljena u tlu. Ovim sustavom troši se najmanje radnog vremena.

Svaki se sustav klasičnog kišenja sastoji od:

- zahvata vode,
- mreže cijevi,
- rasprskivača, i
- armature.

Zahvat vode može biti gravitacijski i crpni (primjenom crpnog agregata). Gravitacijski vodozahvat se može primijeniti samo tamo gdje je izvor vode na dovoljnoj visini većoj od površine koja se navodnjava. Međutim, vrlo se rijetko pojavljuje gravitacijski zahvat vode u praksi.

Crpni agregat se primjenjuje kada je izvor vode na nižoj ili istoj razini te ako je izvor vode na višoj razini, ali visinska razlika nije dovoljna, pa je nužna primjena agregata. Crpni agregat crpi vodu iz izvora i tlači je potrebnim tlakom kroz mrežu cijevi do rasprskivača. Temeljni dijelovi crpnog agregata su pogonski motor i crpka (slika 48.).



Slika 48. Motorna crpka s dizelskim motorom i traktorska crpka (usisavanje do 7m)

Pogonski motor je najčešće elektromotor. No, može se koristiti i dizelski motor. Ako crpku pogoni traktorski motor, najprikladniji je pogon preko priključne osovine traktora. Općenito, motor ne smije imati manju snagu od one koju zahtijeva crpka, jer i kratkoročna veća opterećenja mogu izazvati povećano zagrijavanje motora. Rezultat toga je kraći vijek trajanja motora.

Crpka u klasičnom sustavu kišenja je gotovo isključivo centrifugalna. Glavni dijelovi crpke su: rotor, osovina, lopatice, usisni otvor i otvor za nalijevanje crpke. Pri okretanju osovine i lopatice dolazi do okretanja vode, koja se nakon toga centrifugalnom silom izbacuje određenom brzinom od središta rotora prema vanjskom rubu lopatice. Na taj način dolazi do tlačne energije kojom crpka podiže vodu do određene visine (visine dizanja). Visina dizanja vode izražava se u metrima vodenog stupca ili u barima ($1 \text{ bar} = 10 \text{ m}$ vodenog stupca). Pomoću običnih crpki visina dizanja vode iznosi 60-80 m (6 - 8 bara). Radi pravilnog odabira crpke nužno je poznavati njene sljedeće značajke: manometričku visinu dizanja vode (H_m), učinkovitu snagu crpke (N_e) i korisnost crpke (η).

Manometrička visina dizanja vode (H_m) dobije se zbrajanjem svih tlakova i gubitaka pri navodnjavanju. Treba nastojati da visina sisanja ne bude veća od 4,5 m. Učinkovita snaga crpke (N_e) je snaga koju crpka ima na svojoj osovini, a određuje se izrazom:

$$N_e = \frac{\Theta \times H_m}{102 \times \eta} \text{ gdje su:}$$

N_e - efektivna snaga crpke (kW)

Θ - količina vode koja prolazi kroz crpku (l/s)

H_m - manometrička visina dizanja vode

η - koeficijent iskorištenja (korisnost crpke)

Korisnost crpke (η) predstavlja odnos radne snage i snage primljene od motora. Dobro konstruirane crpke imaju $\eta = 0,7$, što znači da snagu koju prima od motora 70% korisno iskorištava pri crpljenju vode, a 30 % su gubici.

Kapacitet crpke također je važan zbog dobavljanja određene količine vode do rasprskivača pod potrebnim tlakom. Pri odabiru potrebno je voditi računa o površini koja se navodnjava, količini vode koju treba dodati navodnjavanjem (normi navodnjavanja) te vremenu kroz koje će crpka obavljati rad. Kapacitet crpke računa se pomoću jednadžbe:

$$\Theta = \frac{N_e \times \eta \times 102}{H_m} \text{ gdje su:}$$

Θ - kapacitet crpke (l/s)

N_e - učinkovita snaga crpke (kW)

η - koeficijent iskorištenja (korisnost crpke)

H_m - manometrička visina dizanja vode (m)

Mreža cijevi služi za dovod vode od izvora do rasprskivača. Kod klasičnog načina kišenja mreža cijevi se sastoji od:

- usisne cijevi,
- glavnog cjevovoda, i
- kišnih krila

Usisna cijev se nalazi između izvora vode i crpke. Kraća usisna cijev je povoljnija. Obično je to savitljiva rebrasta gumena cijev ili od lakog materijala. Na početku usisne cijevi nalazi se zaštitna košara koja sprječava ulaženje krupnijih nečistoća s vodom u cijev.

Glavni cjevovod spaja crpku s kišnim krilima. Na početku cjevovoda potrebni su zasun i manometar za reguliranje vode i tlaka. Glavni cjevovod može biti od različitog materijala. Stabilni i polustabilni sustavi se izrađuju od armiranog betona, a cijevi su uglavnom čelične. Prenosivi sustav se, uglavnom, izrađuje od pocinčanog čeličnog lima ili aluminijskog lima. Prenosivi cjevovod se sastoji od cijevi dužine 6 m, a cijevi se međusobno spajaju brzopriključnim hidrauličnim ili sferičnim spojkama. Na glavni se cjevovod priključuju kišna krila na razmak koji ovisi o dometu rasprskivača i njihovom razmještanju pri kišenju. Promjer glavnog cjevovoda treba uskladiti prema količini vode koja dolazi pod određenim tlakom do mlaznica rasprskivača.

Kišna krila su cijevi koje se priključuju na glavni cjevovod. Na mjestu spajanja nalaze se zasun i manometar, radi reguliranja protoka vode i kontrole tlaka. Kišna krila se izrađuju uglavnom od laganog materijala, a cijevi (dužine 6 m) se spajaju brzopriključnim spojkama.

Rasprskivači rasprskavaju vodu po površini u obliku prirodne kiše. Rasprskivači trebaju imati slijedeće značajke:

- automatsko (hidrodinamičko) kretanje,
- jednoličnu raspodjelu vode na navodnjavanoj površini,

- jednolično rasprskavanje duž dometa kišenja,
- što veći domet prskanja u usporedbi s upotrijebljenim tlakom,
- jednostavnu konstrukciju, trajnost i otpornost habanja, i
- mogućnost reguliranja količine kapljica pri kišenju

Rasprskivači se mogu podijeliti (Tomić, 1988.):

a) prema radnom tlaku:

- rasprskivači niskog tlaka (<1.5 bara)
- umjerenog tlaka (1.5-2.5 bara)
- srednjeg tlaka (2.5-5.0 bara)
- visokog tlaka (>5.0 bara)

b) prema dometu kišenja:

- rasprskivači malog dometa (<20 m)
- srednjeg dometa (20-35 m)
- velikog dometa (35-50 m)
- vrlo velikog dometa (>50 m)

c) prema količini izbacivanja vode:

- rasprskivači male količine izbacivanja (<5 l/s)
- srednje količine izbacivanja (5-20 l/s)
- velike količine izbacivanja (20-50 l/s)
- vrlo velike količine izbacivanja (>50 l/s)

d) prema obliku površine koju kiše:

- u obliku kruga
- u obliku kvadrata
- u obliku pravokutnika
- u obliku dijela kruga

e) prema intenzitetu kišenja:

- rasprskivači malog intenziteta (<5 mm/h)
- srednjeg intenziteta (5-20 mm/h)
- velikog intenziteta (>20 mm/h)

f) prema broju mlaznica:

- rasprskivači s jednom mlaznicom
- s više mlaznica

g) prema pokretnosti mlaznice:

- rasprskivači s jednom mlaznicom
- s više mlaznica

h) prema načinu pogona:

- s hidrauličnim pogonom
- s pneumatskim pogonom
- s pogonom na reakciju
- zbog udara mlaza vode na jezičke-trzajni rasprskivači

i) prema kontinuitetu kišenja:

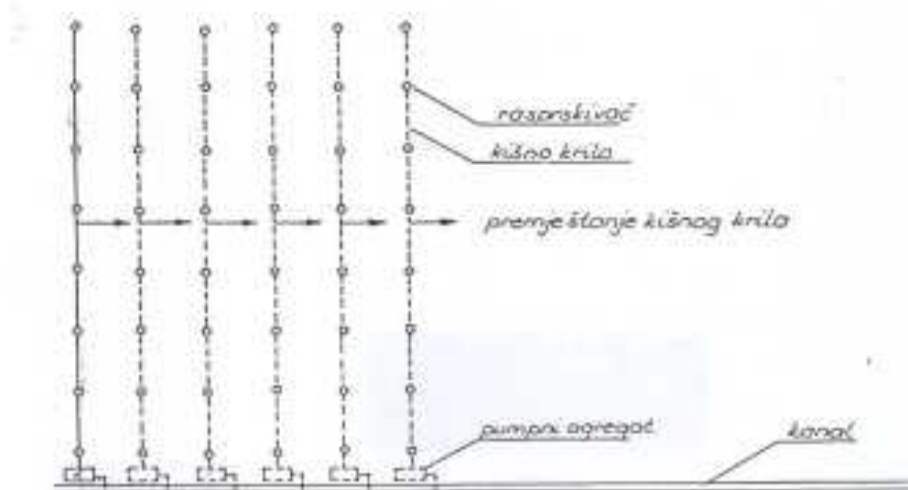
- s neprekidnim ili kontinuiranim mlazom
- s isprekidanim mlazom ili mlazom na mahove

Raspored uređaja za kišenje ponajprije ovisi o položaju i vrsti izvora vode, topografskim uvjetima i obliku navodnjavane površine.

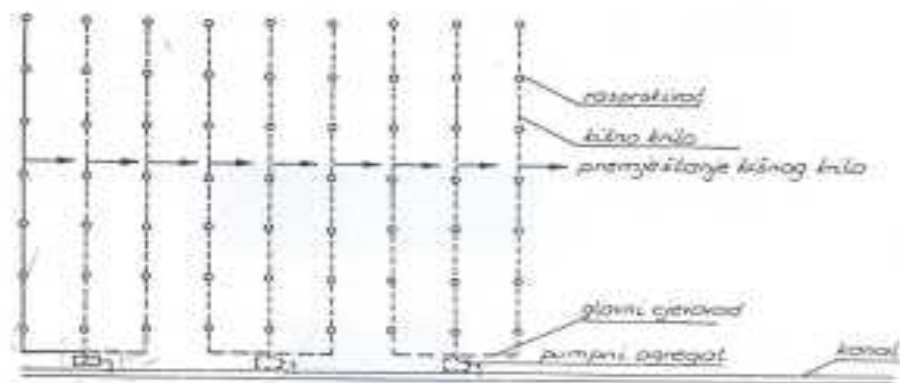
U svakom slučaju treba odabrati najpovoljnije rješenje, kako bi početni troškovi bili najmanji a najveća učinkovitost rada sustava kišenja.

Ukoliko je relativno mala površina (širine do 200 m) i blizina vodotoka ili kanala, moguće je primijeniti uređaj navodnjavanja kišenjem, bez glavnog cjevovoda i samo s jednim kišnim krilom. Cijeli sustav je prenosiv. Manji broj premještanja agregata (crpke i motora) može se postići ukoliko se postavi kraći glavni cjevovod. U tom slučaju agregat ostaje na mjestu a kišno se krilo premješta dva i više puta. Pri navodnjavanju većih površina moguće je uređaj kišenja postaviti na različite načine (u obliku slova “L”, “T” i “U”).

Slika 49 prikazuje postavljanje uređaja s jednim kišnim krilom bez glavnog cjevovoda, a slika 50 s glavnim cjevovodom u obliku slova “L”.

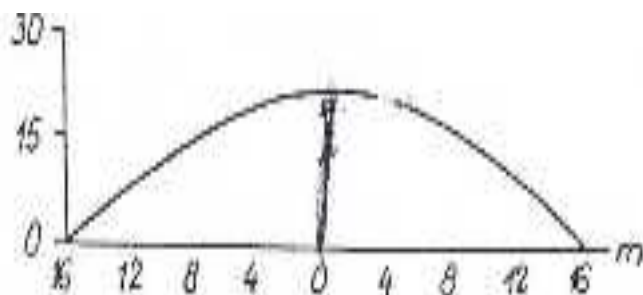


Slika 49. Način postavljanja uređaja s jednim kišnim krilom bez glavnog cjevovoda

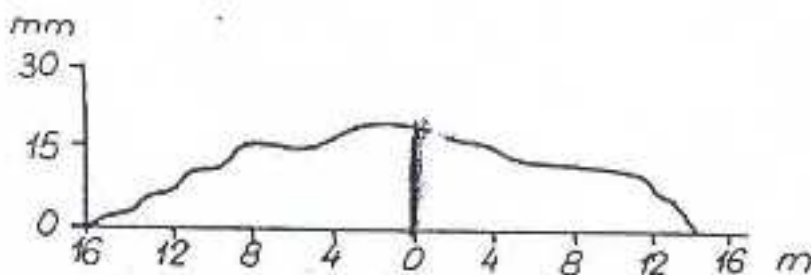


Slika 50. Način postavljanja uređaja u obliku «L» s glavnim cjevovodom

Jedna od najvažnijih značajki rasprskivača je **ravnomjernost kišenja**. Pri kišenju najviše vode padne oko rasprskivača, a prema kraju dometa sve manje. Zbog toga se, u svrhu što ravnomjernijeg kišenja, rasprskivači prikladno razmještaju. Na slici 51. prikazan je idealan raspored vode po dometu kišenja, dok je na slici 52. prikazan raspored vode po dometu kišenja u praksi.



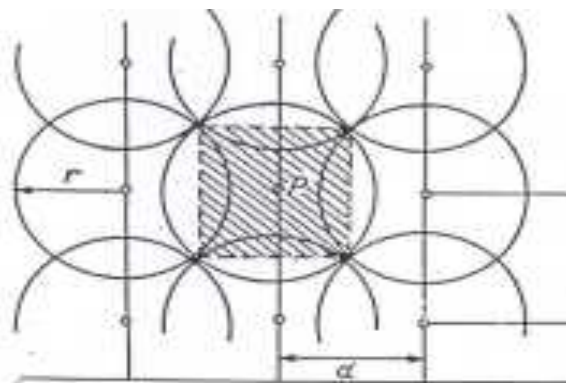
Slika 51. Idealan raspored vode po dometu kišenja (prema Tomić, 1988.)



Slika 52. Raspored vode po dometu kišenja u praksi (prema Tomić, 1988.)

Raspored rasprskivača međusobno i prema kišnim krilima može biti različit. Ipak, u praksi se najviše upotrebljava raspored u obliku kvadrata ili istostraničnog trokuta (slike 53. i 54.).

U kvadratnom obliku bit će razmak kišnih krila jednak razmaku rasprskivača.



Slika 53. Raspored rasprskivača u obliku kvadrata

$$d = 1.42 \times r \text{ gdje su:}$$

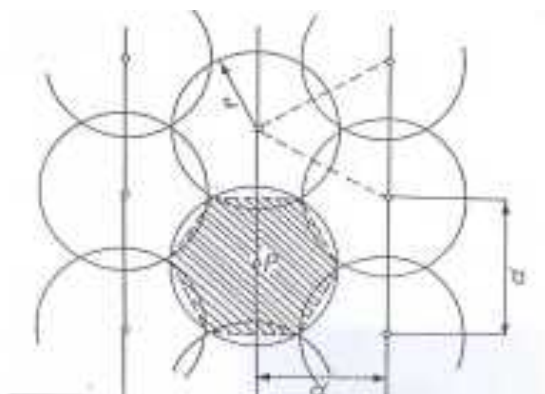
d - razmak rasprskivača i kišnih krila (m),
 r - radni domet kišenja rasprskivača (m)

Radni domet rasprskivača u kvadratnom rasporedu je 0,8, a u trokutastom rasporedu 0,7 teoretski mogućeg dometa.

Korisno okišena površina, koja pripada jednom rasprskivaču, izračuna se prema izrazu:

$$P = 2 \times r^2 \text{ gdje je:}$$

P - korisno okišena površina jednog rasprskivača (m^2)



Slika 54. Raspored rasprskivača u obliku istostraničnog trokuta

Razmak rasprskivača dobije se prema izrazu:

$$d = 1.73 \times r$$

Razmak kišnih krila dobije se prema izrazu:

$$l = 1.5 \times r \text{ gdje je:}$$

l - razmak kišnih krila (m)

Korisno okišena površina, koja pripada jednom rasprskivaču, izračuna se prema izrazu:

$$P=2.6 \times r^2$$

9.6.1.2. Navodnjavanje samohodnim uređajima

Samohodni uređaji imaju veći učinak u navodnjavanju i umanjuju udio ljudskog rada u odnosu na dosadašnje sustave navodnjavanja. S obzirom na tehničku konstrukciju te načine kretanja i automatiziranosti rada, razlikuju se sljedeće vrste samohodnih uređaja za navodnjavanje kišenjem:

- samohodno bočno kišno krilo,
- samohodna kružna prskalica,
- samohodni sektorski rasprskivač,
- samohodno vučeno kišno krilo, i
- samohodni automatizirani uređaji za linearno i kružno kretanje.

Samohodno bočno kišno krilo sastoji se od aluminijskih cijevi, kotača i pogonskog motora. Cijevi su obično promjera 110 - 150 mm, dužine 10 - 12 m, postavljene na kotače promjera 1,2 - 2,0 m (najčešće 1,5 m). Te su cijevi ustvari osovine kotača koji se nalaze na razmaku od 15 do 20 m.

Rasprskivači su postavljeni na svaku cijev ili svaku drugu cijev, koja ima i ispusni ventil za pražnjenje vode prije pomicanja u sljedeći radni položaj. Širina je zahvata krila promjenjiva, a prilagođava se obliku i veličini parcele i kreće između 200 - 400 m. Stroj radi s radnim tlakovima od 3,5 do 4,5 bara i intezitetima kišenja 10 - 15 mm/h.

Samohodno bočno kišno krilo spaja se s hidrantima na glavnom cjevovodu pomoću savitljive gumene cijevi. Glavni ukopani cjevovod može biti postavljen u sredini ili sa strane. U radu se može primjenjivati i prijenosni glavni cjevovod od brzospajajućih cijevi, koje imaju priključke u obliku slova «T» sa zasunom.

Razmak priključaka najčešće odgovara razmaku radnog položaja bočnoga krila. Pri tome treba potpuno osigurati pokrivanje navodnjavane površine, odnosno ravnomjernu raspodjelu vode po cijeloj površini.

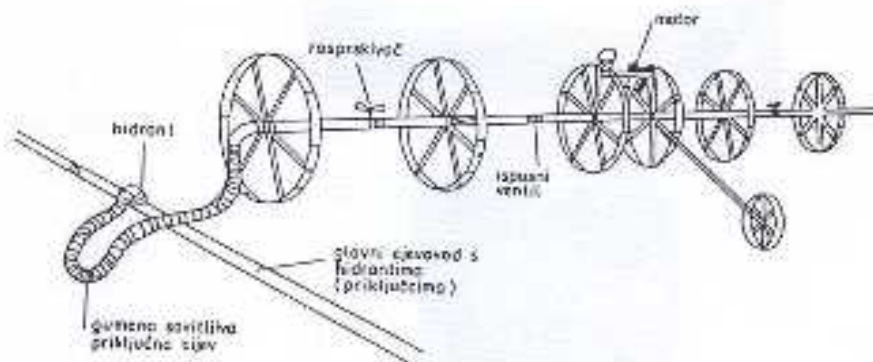
Bočno se krilo kreće u smjeru «naprijed-nazad». Nakon okišenja površine početnoga položaja i realizacije obroka navodnjavanja, uređaj se pomiče u novi radni položaj. Isključuje se dovod vode na priključnom mjestu te dolazi do pada tlaka vode u cijevima i automatskog otvaranja ispusnih ventila na donjoj strani cijevi. Nakon ispuštanja vode, sustav je znatno lakši i može se lakše premještati u novi radni položaj. Kad bi se izvodilo pomicanje krila punih vodom, moglo bi doći do oštećenja i lomova uređaja.

Nakon završetka navodnjavanja jednog usjeva ili dolaska uređaja do kraja parcele, on se vraća nazad obavljajući svoje operacije na jednak način u povratku. Moguć je prijenos bočnoga krila i na druge lokacije, odnosno drugu parcelu. U tom je slučaju potrebno uređaj demontirati, prenijeti, a i ponovno montirati, što je dosta naporan zadatak i traži uporabu kvalificirane radne snage.

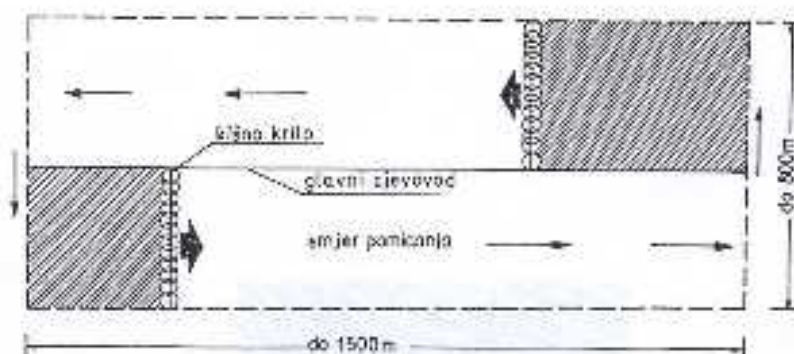
Bočno krilo se može upotrijebiti na svim terenima i parcelama pravilnoga oblika, te za usjeve niskog rasta. Vrlo se uspješno upotrebljava za navodnjavanje povrćarskih usjeva, šećerne repe, soje, lucerne, pašnjaka i livada. Jedan uređaj može zaliti površinu od 30 do 50 ha s turnusom od 5 do 7 dana.

Pri navodnjavanju na tlima teškoga mehaničkog sastava, često dolazi do propadanja kotača i otežanoga kretanja pa je uređaj pogodniji za tla lakše teksture. Pri navodnjavanju

usjeva gustoga sklopa dolazi do oštećenja određenoga broja biljaka gaženjem kotačima. Za usjeve u redovima mogu se prilagoditi širina i trasa kotača tako da se biljke ne oštećuju. Samohodno bočno kišno krilo prikazuje slika 55. a shemu navodnjavanja slika 56.



Slika 55. Shema samohodnog kišnog krila



Slika 56. Shema navodnjavanja samohodnim kišnim krilom

Samohodna kružna prskalice (kružna prskalice ili po prototipu Boom uređaj) sastoji se od velikoga kišnoga krila koje je u sredini spojeno u masivni središnji toranj i voznoga postroja na kotačima (slika 57.). Dužina kišnoga krila je različita i kreće se od 38 do 86 m, to uređaju daje velike dimenzije. Krilo se kružno okreće na visini od oko 5 m iznad tla, što omogućuje navodnjavanje visokih usjeva: voćaka, vinove loze, kukuruza, suncokreta i dr.

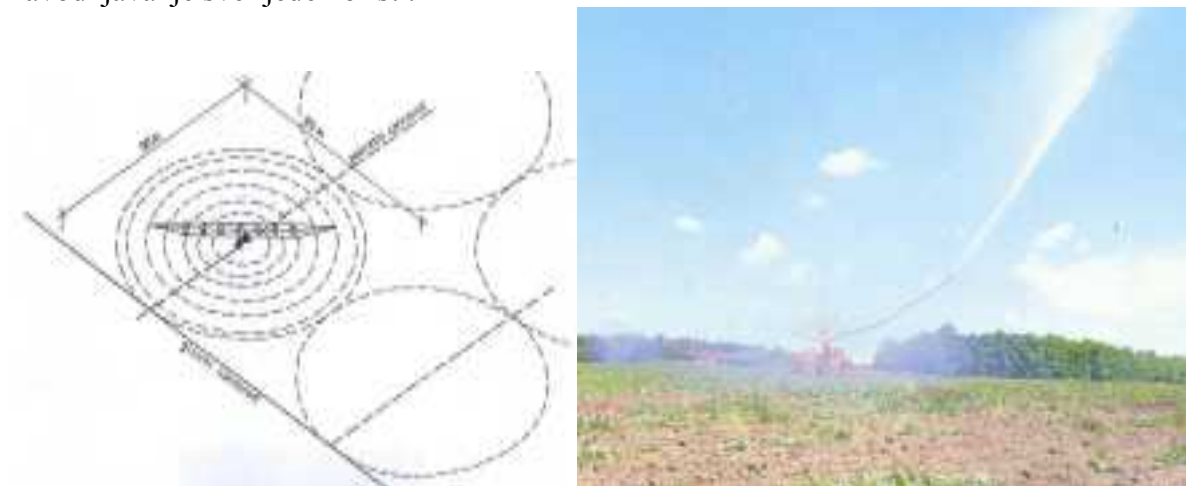
Uzdruž velikoga kišnoga krila postavljeni su rasprskivači, a zadnji imaju veće domete mlaza vode, što povećava okišenu površinu.

Prema dometu krajnjih rasprskivača i dužini krila, kružna prskalice može navodnjavati parcelu od 0,5 do 1,5 ha iz jednoga radnog položaja. Uređaj radi pod velikim radnim tlakom vode (4 - 7 bara), po čemu je veliki potrošač energije pri dobavi vode i intezitetu kišenja 10 - 12 mm/h. Vodu sa izvorišta zahvaća i tlači prema kružnoj prskalici vlastiti crpni agregat, koji se može pomicati uzduž vodotoka ili kanala.

Nakon kišenja dijela parcele, uređaj se premješta pomoću vlastitoga pogonskog motora (20 - 30kW) u sljedeći radni položaj. Postoje i uređaji koji se povlače na novu poziciju traktorom. Stroj se može postaviti po različitim rasporedima navodnjavanja, a najčešće u kvadrat od 90 x 90 m ili 114 x 114 m.

Kružne se prskalice primjenjuju uglavnom na ravnim terenima jer na kosinama i nagnutim površinama postoji opasnost od prevrtanja. Dobra je strana tog uređaja što

omogućuje navodnjavanje svih poljoprivrednih usjeva, niskoga i visokoga habitusa. Nedostatak mu je što se uređaj kreće po natopljenoj, raskvašenoj površini pa zbog svoje velike mase i glomaznosti često zapada u blato, pogotovo na težim tlima. Tada dolazi do otežanoga kretanja pa čak i lomova konstrukcije, što je uvjetovalo da se ovaj stroj za navodnjavanje sve rjeđe koristi.

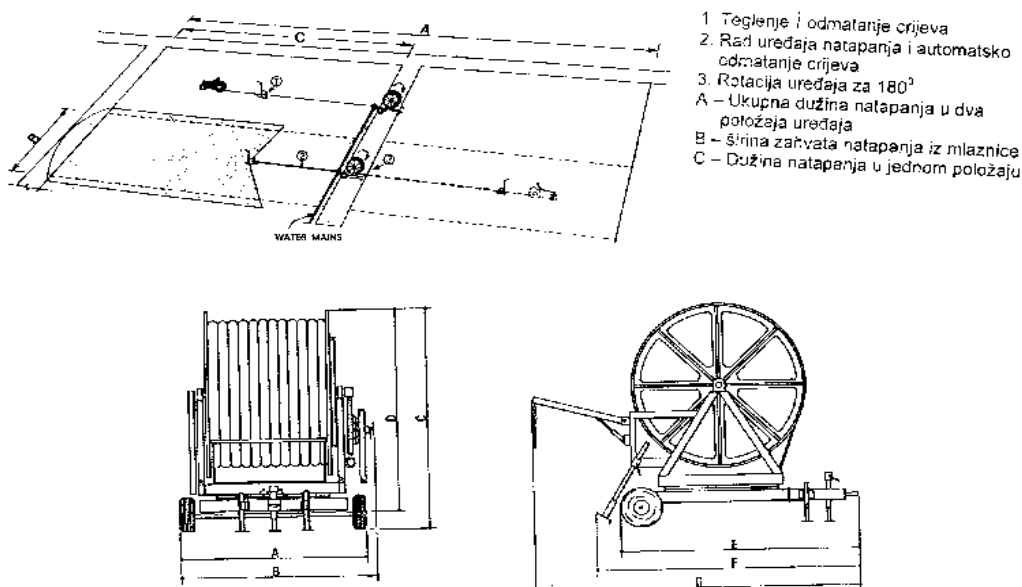


Slika 57. Shema navodnjavanja pomoću kružne prskalice (Boom sustav)

Samohodni sektorski rasprskivač (“Typhon” uređaj) sastoji se od velikog vitla ili kolotura na kojeg je namotana polietilenska cijev velike dužine (najčešće 200 - 500 m i promjera 90 - 140 mm) i jedanog rasprskivača velikog dometa i inteziteta kišenja (slika 58 i 59). Vitlo je postavljeno na postolju a rasprskivač na pomičnom postolju u obliku skija, ili na kotačima. Prije početka rada traktor dovlači „typhon“ na površinu navodnjavanja. Zatim se savitljiva cijev spaja na hidrant na cjevovodu koji dovodi vodu. Nakon toga traktorom se vuku skije ili kolica s rasprskivačem (uz odmotavanje savitljive cijevi) do kraja trase navodnjavanja. Stavljajući sustav pod tlak, počinje kišenje odgovarajućeg područja ili trase, uz pomicanje rasprskivača na skijama (kotačima) prema vitlu. Kada rasprskivač stigne do vitla, penje se na postolje (šasiju) i automatski prestaje raditi. Iza toga se može okrenuti toranj s vitlom na suprotnu stranu i traktorom ponovno odvući skije s rasprskivačem (odmotavajući cijev) u novi radni položaj i, stavljanjem sustava u pogon počinje navodnjavanje (kišenje). Nakon okišene obje trase (trake), uređaj se premješta na slijedeći radni položaj (na određeni razmak). Namatanje cijevi na vitlo kao i okretanje vitla je pod tlakom vode u sustavu, te stoga nije potreban poseban energetska pogon. Intezitet i količina dodavanja vode mogu se podesiti brzinom namatanja cijevi, a time i vrijeme potrebno za izvođenje obroka navodnjavanja. Brzina namatanja cijevi na kolotur može se prilagoditi i kreće se 15 - 50 m/h, tako da se za 22 sata može okišiti površina od 0,7-5 ha s obrokom navodnjavanja od 10 do 40 mm vode. Uređaj radi pod visokim tlakom (4 - 7 bara), pogodan je za navodnjavanje tabli veličine 40 - 50 ha, uz turnus navodnjavanja 8 - 10 dana. Rasprskivač ima zahvat kišenja 80 - 140 m.

“Typhon” uređaj se zbog svoje pokretljivosti, praktičnosti i jednostavnosti rukovanja primjenjuje u praksi za navodnjavanje svih usjeva. Nedostatak ovog sustava je nepovoljan utjecaj vjetra na ravnomjernost kišenja i prskanje vode krupnijim kapima koje mogu oštetiti pojedine usjeve i prouzročiti zbijanje tla.

“Typhon” uređaj se proizvodi u “mini” izvedbi s promjerom cijevi od 40 do 50 mm i dužinom oko 150 m, do velikih strojeva promjera cijevi do 140 mm i dužine do 500 m.



Slika 58. Shema rada sektorskog rasprskivača



Slika 59. Samohodni sektorski rasprskivač

Samohodno vučeno kišno krilo je poboljšana konstrukcija uređaja vučenog sektorskog rasprskivača. Sastoji se od velikog kolotura s namotanom plastičnom cijevi i kišnog krila priključenog na kraju cijevi. Kišno krilo instalirano je na postolju s tri kotača koje pokreće cijev pri namatanju na kolotur. Princip rada i temeljna konstrukcija vučenog kišnog krila jednaka je kao kod samohodnog sektorskog rasprskivača („típhon”). Ustvari je vučeno kišno krilo rezultat razvoja i poboljšanja uređaja za navodnjavanje kišenjem. Umjesto jednog sektorskog rasprskivača kod tifona, ovdje je na pokretnom postolju učvršćena aluminijska cijev (promjera 50-80 mm), na kojoj se nalazi serija rasprskivača malog inteziteta kišenja.

Širina (zahvat) vučenog kišnog krila je 50 - 80 m (slika 60), a rasprskivači (mini rasprskivači-dizne) rade s malim tlakovima od 1,0 do 1,5 bara. Oni izbacuju vrlo sitne kapljice vode (finu kišu), malog do srednjeg inteziteta (5 - 15 mm/h).

Svi tipovi uređaja vučenog kišnog krila troše znatno manje energije od „tyfon“ sustava (1 – 50 %) te su zato pogodniji za primjenu. Osim što štede energiju, vučena kišna krila zbog bolje raspodjele kiše troše oko 25% manje vode u odnosu prema drugim samohodnim uređajima. Raspored vode po širini zahvata kišnog krila je vrlo ujednačen, a vjetar manje utječe na ravnomjernost kišenja. Visina vučenog kišnog krila iznad tla je 0,5 - 1,0 m, a kod najnovije opreme može se i prilagoditi prema usjevima koje se navodnjavaju (do 3 m visine).

Jedan uređaj vučenog kišnog krila može zaliti površinu veličine od 25 do 70 ha raznolikih usjeva. Rasprskivači različitih promjera otvora mogu se mijenjati, odnosno finoća kapljica kiše može se prilagođavati prema uzgajanim usjevima. Inteziteti kišenja i količina dodane vode na površinu tla mogu se prilagoditi promjenom brzine kretanja (povlačenja) kišnog krila.

Rad ovog uređaja na površini jednak je ili sličan prilagođavanju rada „tyfona“. Na početku navodnjavanja vučeno kišno krilo dovlači se traktorom na suprotni kraj površine u polazni položaj. Spajanjem uređaja na hidrante ili ventile preko savitljive cijevi i stavljanjem vode u sustavu pod tlak, započinje kišenje uzduž krila. Zbog namatanja cijevi na kolotur, dolazi do povlačenja kišnog krila prema prikolici tako da se operacija kišenja odvija neprekinuto u kretanju. Brzina kretanja vučenog kišnog krila može se mijenjati između 20 - 50 m/h.

Prilazom vučenog kišnog krila do prikolice s kolotutom, isključuje se uređaj iz rada i premješta traktorom na suprotnu stranu parcele ili u novi radni položaj.

Samohodna vučena kišna krila mogu se priključiti na svaki kompatibilan „tyfon“ uređaj, odnosno, moguća je kombinacija sektorskog rasprskivača ili vučenog kišnog krila na istom stroju.



Slika 60. Samohodno vučeno kišno krilo - Dusenwagen

Samohodni automatizirani uređaji za kišenje su strojevi velikih radnih učinaka, a pogodni su za navodnjavanje velikih parcela (100 - 300 ha). Svi su uređaji za navodnjavanje vrlo glomazni i oni su najveći strojevi na poljoprivrednim površinama, te najsuvremenija dostignuća tehnike. U radu su potpuno automatizirani i kompjutorizirani pa se zato i nazivaju hidromaticima, vodomaticima ili elektromaticima.

Uređaj se sastoji od sljedećih glavnih dijelova: pokretnih tornjeva (segmenata) na kotačima, cijevi kišnoga krila, rasprskivača malog inteziteta i radnoga tlaka na kišnome krilu. Pokretni su tornjevi visine 3 - 5 m postavljeni na gumenim kotačima, a svaki se pokreće pomoću vlastitog elektromotora. Brzina je kretanja svakoga tornja individualno regulirana i sinhronizirana računalima s ostalim tornjevima hidromatika.

Uređaji kiše tijekom neprekinutoga kretanja, a pomicanje tornjeva prema naprijed odvija se vrlo polagano i jednolično kako ne bi došlo do lomova konstrukcije stroja te da bi se održao pravac kretanja. Tornjevi se nalaze na određenim razmacima (30 - 50 m) i može ih biti više (5 - 20 komada). Širina zahvata hidromatika, koja može iznositi od 400 -do 1000 m, ovisi o njihovom broju. Na pokretnim je tornjevima ovješena posebnom konstrukcijom cijev kišnog

krila, koja napaja rasprskivače vodom. Danas se upotrebljavaju cijevi od čvrstog aluminija ili limene pocinčane cijevi, promjera 12 - 150 mm. Na cijevima su ugrađeni rasprskivači na određenim razmacima, od 10 do 15 m.

Rasprskivači koji su danas u uporabi na hidromaticima, maloga su inteziteta (5 - 15 mm/h) i protoka vode, a rade s malim tlakovima vode (0,7 - 1,5 bara). Zato su ti strojevi za navodnjavanje mali potrošači energije, što im daje dodatnu prednost pred drugom opremom u praksi.

Samohodni automatizirani uređaji za navodnjavanje kišenjem dijele se prema načinu kretanja tijekom rada na linearne i kružne. Tako su u praksi navodnjavanja danas poznata dva osnovna tipa hidromatika:

- uređaj za linearno kišenje, i
- uređaj za kružno kišenje.

Sastavni su elementi i dijelovi obaju tipova hidromatika jednaki ili slični, a razlikuju se samo u načinu kretanja. Međutim, oba su tipa automatizirana i kompjutorizirana te se svi tehnički parametri rada mogu programirati na zapovjednom mjestu. Na početku rada programira se brzina kretanja uređaja, a time intezitet kišenja i vrijeme realizacije obroka navodnjavanja. Oni rade bez nazočnosti čovjeka, odnosno on ih samo nadzire i programira prema agronomskim zahtjevima usjeva koji se navodnjava. Mogu raditi neprekinuto danju i noću te tako maksimalno iskoristiti svoje tehničke kapacitete.

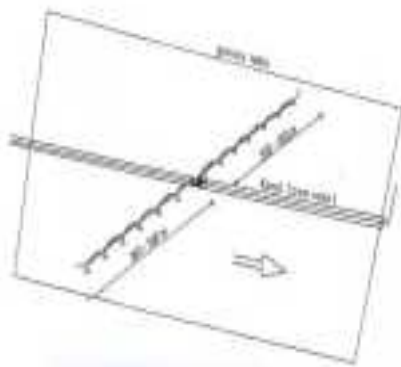
Samohodni i automatizirani uređaji za linearno i kružno kretanje mogu navodnjavati gotovo sve vrste usjeva, niskoga i visokoga uzrasta, ali uglavnom na ravnijim terenima.

Uređaj za linearno kišenje (linearni ili «renger»tip) kreće se pravocrtno uzduž parcele koju kiši (slika 61.). Kao izvoršte vode koristi se obično otvoreni kanal, a nalazi se na sredini table ili uz jednu njenu stranicu. No, postoje i linearni strojevi za kišenje koji se vodom napajaju dovodnim cjevovodima (pod tlakom), a priključuju na hidrante automatizirane tijekom kretanja uređaja.

Ako se uređaji opskrbljuju vodom iz otvorenih kanala, tada imaju posebnu energetska jedinicu s dizelskim motorom, a pokreće crpku za vodu i elektrogenerator za stvaranje električne struje. Energetska je jedinica na voznoj šasiji (na kotačima), koja se kreće poljskim putem uz otvoreni kanal i vođena je «pipanjem» čeličnog užeta razapete uzduž puta.

Tijekom kretanja crpni agregat uzima vodu iz kanala, stavlja je pod tlak i tlači kroz kišno krilo do rasprskivača. Istovremeno proizvodi električnu struju koja preko releja pogoni elektromotore na tornjevima te se tako odvija ravnomjerno pomicanje stroja prema naprijed.

Uređaji za linearno kišenje mogu se sastojati od jednoga ili dvaju dijelova (jednoga ili dvaju krila), a tada zahvaćaju tablu širine do 2 x 500 m i dužine do 2000 m i više, što znači da jedan stroj navodnjava površinu od oko 200 ha. Stroj zahtijeva parcele pravilnoga oblika (pravokutnoga), te se ona tako projektira i priprema prije postavljanja uređaja na terenu. Također se mora načiniti i poljski put uz kanal, po kojemu se kreće crpni agregat s generatorom električne energije.



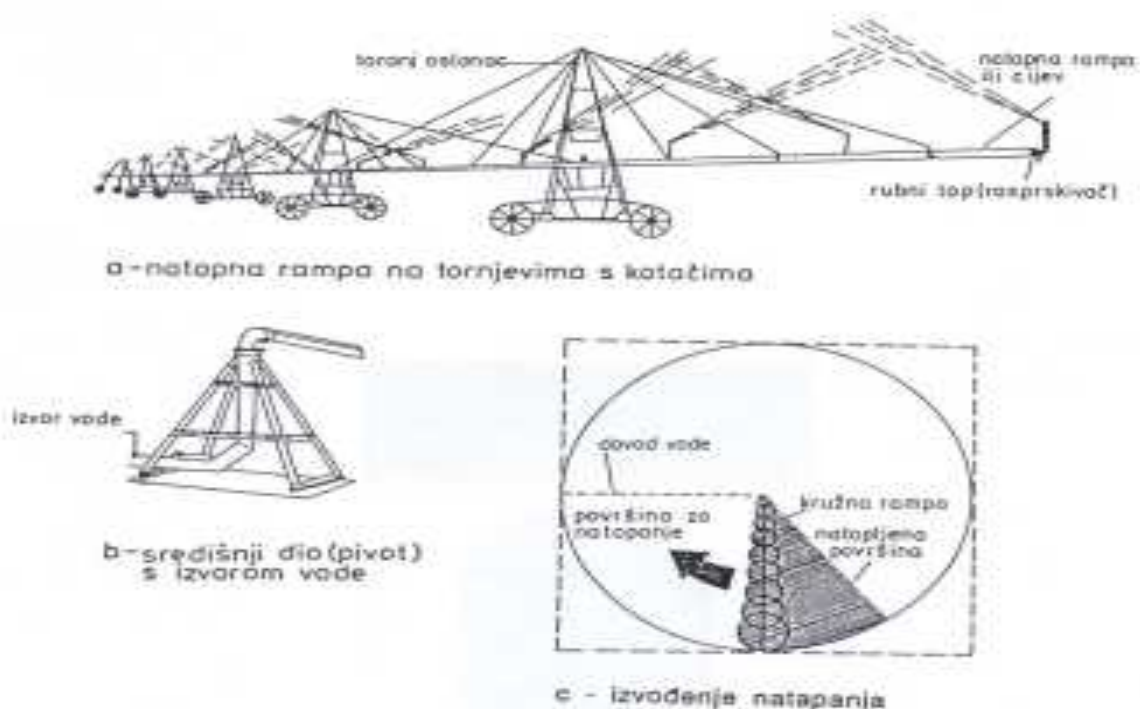
Slika 61. Shema i slika samohodnoga automatiziranoga stroja za navodnjavanje kišenjem linearnoga kretanja

Uređaj za kružno kretanje («centar pivot» tip) učvršćen je jednim krajem kišnoga krila, koje rotira oko svog središta (kreću se u krug), kišeći površinu kružno (slika 62.). Izvorište vode je u središtu (stožer) sustava, a obično je to hidrant ili crpni agregat.

Središnji dio stroja ili «pivot» postavljen je na betonsko postolje, u središtu kružnice, gdje su dostupni voda i struja potrebni za pokretanje tornjeva. Cijeli se uređaj pokreće tako što svaki toranj (segment) ima svoj elektromotor, a njihove su brzine sinhronizirane.

Širina zahvata uređaja za kružno kretanje je raznolika a projektira se prema topografiji i veličini parcele (od 300 do 500 m i više). Dužina kišnoga krila ustvari je polumjer kruga koji taj stroj okiшава, a može natapati kružnice površine 30 - 200 ha. Između dva središta „pivot“ stroja ostaje neokišena površina, što je nedostatak tih uređaja. No, s druge strane mogu se primjenjivati na lagano nagnutim terenima (nagiba 5 – 7 %), što nije moguće s linearnim tipovima strojeva.

Strojevi kružnoga kretanja programiraju se, također, na zadani intezitet kišenja i obrok navodnjavanja regulacijom brzine okretanja kišnoga krila te rade samostalno i bez nazočnosti čovjeka. Zbog svoje izuzetne praktičnosti u radu, uređaji za kružno kretanje vrlo su rasprostranjeni i primjenjivi za različite usjeve.



Slika 62. Shema samohodnoga automatiziranoga uređaja za navodnjavanje kišenjem kružnoga kretanja

9.6.2. Lokalizirano navodnjavanje

Lokalizirano navodnjavanje primjenjuje se na dva načina:

- navodnjavanje kapanjem ili «kap po kap», i
- navodnjavanje mini rasprskivačima.

Oba ova načina su novijeg datuma. No, ipak, navodnjavanje kapanjem pojavilo se oko dvadesetak godina prije navodnjavanja mini rasprskivačima. Zajedničko im je što ne zahtijevaju veliki tlak (posebno kapanje), pa se zbog toga izgrađuju od polimernih materijala (plastike).

Navodnjavanje kapanjem je lokalizirano navodnjavanje kod kojeg voda iz sustava gusto postavljenih plastičnih cijevi izlazi kroz posebne kapaljke (postavljene uzduž cijevi) i, kapanjem “kap po kap”, vlaži tlo uz svaku uzgajanu biljku (slika 63.). Voda se, dakle, dovodi do svake biljke i vlaži manji dio površine, pa su gubici vode mali, ili ih uopće nema. Dodavanje vode može biti kontinuirano (0 - 24 sata) ili povremeno, u određenim vremenskim razdobljima. U svakom slučaju moguće je održavati vlažnost tla u aktivnoj zoni rizosfere svake biljke, u blizini vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta (optimalno područje vlažnosti tla za uzgoj usjeva).

Uređaj za navodnjavanje kapanjem sastoji se od:

- pogonskog dijela s glavom sustava,
- filtarskog uređaja,
- glavnog cjevovoda,

- lateralnih ili razvodnih cijevi, i
- kapaljki.

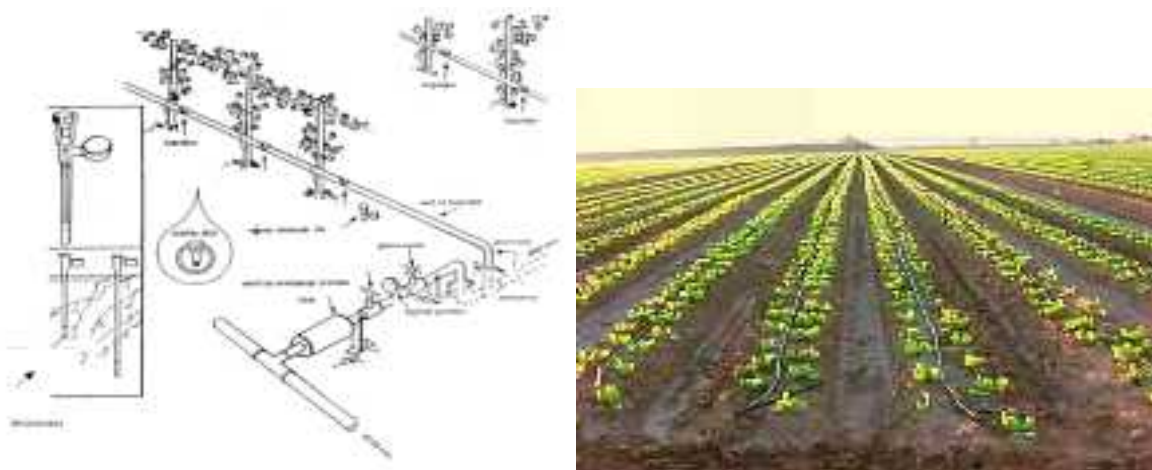
Pogonski dio s glavom sastoji se od sljedećih dijelova: crpke s motorom, regulatora i mjerača protoke vode (ventili i vodomjer), regulatora i mjerača tlaka vode, filtera za vodu i fertilizatora. Glavna je uloga pogonskog dijela da pod ujednačenim tlakom, potiskuje filtriranu vodu u glavni cjevovod, odnosno do kapaljki. Radni tlak vode pri navodnjavanju kreće se od 0,8 do 1,5 bara, a održava regulatorom tlaka. Za automatsko podešavanje programirane količine vode u uređaju služe regulator i mjerač protoke. Ovo se reguliranje količine vode obavlja za svaki uzgajani usjev (podešavanje obroka navodnjavanja). Zbog specifične građe kapaljki, lako može lako doći do njihovog začepljenja, pa su nužni u sustavu navodnjavanja filteri koji čiste vodu od najsitnijih onečišćenja. Fertilizator služi za miješanje vodotopivih mineralnih gnojiva s filtriranom vodom, tako da se uz navodnjavanje obavlja i gnojidba biljaka.

Glavni cjevovod može biti nadzemni ili podzemni. Promjer cjevovoda ovisi o količini vode koja se dodaje sustavom navodnjavanja, najčešći je promjer od 20 do 50 mm. Položaj glavnog cjevovoda prema navodnjavanoj površini ovisi o prilikama na terenu (uz kraću stranicu ili po sredini površine). Na glavni cjevovod postavljaju se razvodne ili lateralne cijevi. Najčešće se ove cijevi polažu na tlo uz biljku ili se vežu za biljku, kako bi svaka biljka dobila potrebnu količinu vode. Razvodne cijevi su najčešćeg promjera od 15 do 20 mm. Budući da je broj cijevi usklađen s brojem i dužinom redova, ukupna količina cijevi ovisit će o razmaku redova, odnosno uzgajanom usjevu.

Kapaljke predstavljaju posebni dio uređaja za dodavanje vode u obliku kapanja ili kap po kap. Kapaljke su vrlo osjetljivi dio sustava za navodnjavanje (ali najvažniji). Izrađuju se iz plastike. Postoje razne izvedbe i razni tipovi. Zapravo su kapaljke male i jednostavne naprave s rupicama u kojima voda pri prolasku gubi tlak i kapa (zbog sile gravitacije) na tlo, uz biljku. Budući da su rupice sklone začepljenju, voda se prethodno filtrira. Ukoliko se i pored toga začepe, mogu se zamijeniti novima. Svi se tipovi kapaljki mogu svrstati u dvije skupine. Prvu skupinu čine kapaljke koje se mogu podešavati i one su u obliku vijka. U njihovim se dugim navojima gubi tlak vode, i na kraju nastaju kapi. Kapaljke koje se ne mogu podešavati imaju značajke kapilara. U propustima za vodu (kapilarama) također se gubi tlak i voda izlazi u obliku kapi. Neki tipovi kapaljki imaju dijafragmu, a neke su diskosne, itd. Razmak kapaljki na cjevima ovisi o razmaku biljaka u redu i o fizikalnim značajkama tla i može biti od 50 do 150 cm. Kapaljke koje su sastavni dio cijevi nazivaju se linijskim kapaljkama, a ako su sa strane cijevi onda se zovu bočne. Intenzitet kapanja je najčešće od 3 do 4 l/h uz tlak od 0,8 do 1,5 bara.

Prednosti sustava kapanja su višestruke, a posebne koristi su u uštedi vode i energije, te mogućnost primjene na svim reljefima i tlima. Mogu se navodnjavati raznoliki usjevi uz ostvarivanje učinkovitosti gnojidbe. Osim toga, primjenom kapanja ostvaruje se povoljniji rast i razvoj biljaka te viši prirodni i kvalitetniji plodovi.

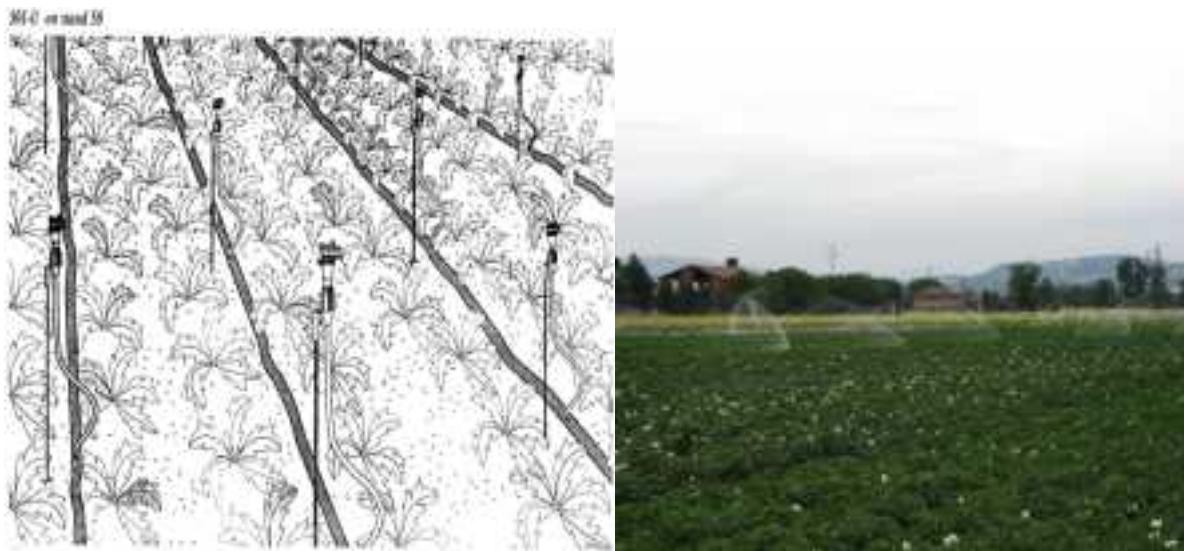
Sustav kapanja ima nekoliko nedostataka. Najveći problem koji može nastati je začepljenje malih prolaza u kapaljkama. One se mogu začepiti česticama mineralnog i organskog podrijetla (prah, pijesak, organska tvar, alge, bakterijska sluz, taloženje hranjiva, otopljeno željezo i kalcijev karbonat). Sljedeći nedostatak kapanja je ograničen rast korijena biljaka. Naime, pri navodnjavanju kapanjem, korijen se više razvija u vlažnom području i ako je to područje premalo, nedovoljno će se širiti. Posljedice toga mogu biti višestruke (umanjen prirodni, pliće zakorijenjavanje biljaka, stoga slabije iskorištavanje hranjiva i mogućnost vjetroizvale stabala).



Slika 63. Važniji dijelovi sustava navodnjavanja kapanjem i slika navodnjavanja

Navodnjavanje mini rasprskivačima je alternativa kapanju, odnosno želja za uklanjanjem svih nedostataka navodnjavanja kapanjem (slika 64). Sustav je također izrađen od polimernih materijala. Novijeg je datuma i sve se više širi u poljskim uvjetima, naročito pri uzgoju voćarskih i povrćarskih usjeva te u rasadnicima i parkovima. Jednako je tako navodnjavanje mini rasprskivačima pogodno za intenzivan uzgoj povrćarskih i cvjećarskih usjeva te rasadnih materijala, u staklenicima i plastenicima. Uređaj za navodnjavanje mini rasprskivačima identičan je uređaju navodnjavanja kapanjem. Razlika je samo u načinu dodavanja vode, odnosno kapaljke su zamijenjene mini rasprskivačima. Mini rasprskivači raspršuju vodu u obliku sitnih kapi, pod tlakom uglavnom do 3,5 bara i imaju domet do 5 m. Svi su dijelovi navodnjavanja mini rasprskivačima jednaki ili približno jednaki onima koji su opisani pri razradi načina navodnjavanja kapanjem. Dakle, izvor vode te pogonski dio (crpka i motor) identični su kao i pri kapanju. Jednako tako nema većih razlika u kontrolnoj glavi uređaja za navodnjavanje (kontrolni ventili, manometar, vodomjer te regulator tlaka vode). Uređaj za fertilizaciju (gnojidba vodotopivim hranjivima) također se ne razlikuje. Treba naglasiti, da se pri navodnjavanju mini rasprskivačima, gnojidba vodotopivim hranjivima rjeđe primjenjuje nego pri kapanju. Što se tiče uređaja za filtriranje vode, također se češće izostavlja. Naime, mini rasprskivači imaju veće prolaze za vodu i rade pod nešto većim tlakom nego kapaljke.

Budući da su svi dijelovi kontrolne glave sustava za navodnjavanje i uređaji za fertilizaciju i filtriranje vode opisani u uređaju za kapanje, ovdje ih nije potrebno ponovno navoditi. Glavni cjevovod i lateralne cijevi su fiksne ili polugipke polietilenske cijevi. Na njih se postavljaju mini rasprskivači ili njihovi priključci. Postoje različiti oblici priključaka i nosača za mini rasprskivače. Oni se lako utisnu u stijenku lateralne cijevi, gdje god je to potrebno. Na priključak rasprskivača može se spojiti svaki tip rasprskivača s različitim protocima. Na te priključke se mogu staviti i čepovi radi zatvaranja otvora i sprečavanja izlaska vode. Dakle, mini rasprskivači se mogu na različite načine spojiti s lateralnom cijevi. Prije svega, moguće ih je spojiti preko priključka na samu cijev. Zatim ih je moguće postaviti na postolje pomoću navoja. Osim toga, mini rasprskivači se mogu postaviti i na nosač. U tom slučaju se komplet povezivanja rasprskivača s lateralnom cijevi sastoji od četiri elementa: priključka koji se postavlja u cijev, savitljive cjevčice koja ide od cijevi do rasprskivača, vezne spojke i nosača rasprskivača.



Slika 64. Shema i slika navodnjavanja mini rasprskivačima

LITERATURA

- Bašić, F. (1981): Pedologija. Sveučilište u Zagrebu, Poljoprivredni institut, Križevci.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998.): Crop evapotranspiration. Irrigation and drainage paper, No. 56., Rome.
- Dastone, N. G. (1975.): Effective rainfall. Irrigation and drainage paper, No. 25., Rome.
- Doorenbos, J., Pruitt, N. O. (1977.): Crop water requirements. Irrigation and drainage paper, No. 24., Rome.
- Đaković, B. (1987.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, I kolo, Odvodnjavanje, knjiga 4 (poglavlje: Dodatne mjere u funkciji cijevne drenaže), Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
- Fabijanić, A. G. (1989.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, I kolo, Odvodnjavanje, knjiga 5 (poglavlje: Strojevi za izgradnju podzemne odvodnje poljoprivrednih tala). Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
- Gračanin, M. (1951.): Pedologija III dio: Sistematika tla, Zagreb.
- Kišpatić, M. (1877.): Zemljoznanstvo. Kr. Hrvatska zemaljska vlada, Zagreb.
- Klaghofer, E. (1982.): Zur Frage der Regelung des Bodenwasserhaushaltes schwerer Böden, Mitteilungen, No. 28., Petzenkirchen.
- Kos, Z. (1993.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, II kolo, Navodnjavanje, knjiga 2 (poglavlje: Potreba vode za natapanje), Građevinski fakultet Rijeka i Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Rijeka.
- Lešić, R., Borošić, J., Buturac, I., Ćustić, M., Poljak, M., Romić, D. (2002.): Povrćarstvo (poglavlje: Navodnjavanje povrća), Zrinski d.d. Čakovec.
- Marin, A. (1989.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, I kolo, Odvodnjavanje, knjiga 5 (poglavlje: Strojevi za izgradnju hidromelioracijskih sustava površinskog odvodnjavanja), Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
- Marušić, J. (1987.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, I kolo, Odvodnjavanje, knjiga 4 (poglavlje: Potreba i značaj izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja), Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
- Nataljčuk, M. F., Ahmedov, H.A., Oljgarenko, V.I. (1983.): Eksploatacija hidromeliorativnih sistema (za studente poljoprivrede specijalizirane u području hidromelioracija), Moskva.
- Palmer, C.W. (1965.): Meteorological drought. U.S. Department of Commerce-Research, No.45., Washington.
- Racz, Z. (1981.): Meliorativna pedologija, II dio, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Romić, D. (2005.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, III kolo, Navodnjavanje, knjiga 2. Elementi planiranja sustava za navodnjavanje (poglavlje: Navodnjavanje u održivoj poljoprivredi). HDON i Hrvatsko hidrološko društvo, Rijeka.
- Srebrenović, D. (1986.): Primjenjena hidrologija, Tehnička knjiga, Zagreb.
- Stebut (1927.): Nauka o poznavanju zemljišta (Pedologija), Beograd.
- Šimunić, I. (2000.): Uređivanje voda (rukopis), Agronomski fakultet Zagreb, Zagreb.
- Škorić, A., (1973.): Tipovi naših tala, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Škorić, A. (1986.): Priručnik za pedološka istraživanja, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Škorić, A., Filipovski, G., Ćirić, M. (1985.): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, ANU BiH, Odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka, Knjiga 13, Sarajevo.
- Škorić, A. (1991.): Sastav i svojstva tla, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Thomasson, A.J. (1975.): Soils and field drainage. Soil Survey Technical monograph, No. 7, Harpenden.

Tomić, F. (1987.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, I kolo, Odvodnjavanje, knjiga 4 (poglavlje: Sistemi detaljne odvodnje za reguliranje suvišnih voda u tlu), Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.

Tomić, F. (1987.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, I kolo, Odvodnjavanje, knjiga 4 (poglavlje: Detaljna odvodnja u ovisnosti o vrsti tla), Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.

Tomić, F., Petošić, D. (1987.): Poljoprivredne melioracije (pisana predavanja), Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.

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

Tomić, F. (1989.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, I kolo, Odvodnjavanje, knjiga 5 (poglavlje: Primjena filter materijala u hidromelioracijskim sustavima) Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.

Tomić, F., Romić, D., Mađar, S. (1995.): Priručnik za hidrotehničke melioracije, II kolo, Navodnjavanje, knjiga 4 (poglavlje: Oprema za natapanje), Građevinski fakultet, Rijeka i Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Rijeka.

Vidaček, Ž. (1998.): Gospodarenje melioracijskim sustavima odvodnje i natapanja. Agronomski fakultet, Zagreb.

*** FAO (1976.): Guidelines for Soil Profile Description. Siol Resources, Rome.

*** FAO (1990.): FAO/ Unesco Solil Map of the World: Revised legend, World Soil Resources Report 60, FAO/ Unesco/ ISRIC, Rome.

*** ILRI Publication 16, Second Edition (1994.): Drainage principles and Applications, Wageningen.

Izdavač:

Visoko gospodarsko učilište u Križevcima

Lektorica.

Vlatka Raguž, prof.

Tehnički uredili:

prof. dr. sc. Ivan Šimunić i mr. sc. Andrija Špoljar

Recenzenti:

prof. dr. sc. Ivica Kisić
prof. dr. sc. Stjepan Husnjak
prof. dr. sc. Franjo Tomić

Tisak i nakladnik:

Visoko gospodarsko učilište u Križevcima

Povjerenstvo za nastavnu djelatnost:

mr. sc. Renata Husinec
mr. sc. Zvezdana Augustinović
Sandra Kantar, prof.

Skripta pod naslovom „Tloznanstvo i popravak tla, II dio“ odobrilo je Stručno vijeće temeljem Izvješća Povjerenstva za izdavačku djelatnost na sjednici održanoj 5. srpnja 2007. i prema Odluci dekana , Ubroj 2137-78-06/154-4.

**CIP zapis dostupan u računalnom katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod
brojem 649530.**

ISBN 978-953-6205-11-0