Uloga vodnog režima tla u hidrotehničkim melioracijama

Kesedžić, Iva

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josip Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:609846

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

Veliku zahvalnost u prvom redu, dugujem svojoj mentorici doc. dr. sc. Moniki Marković koja mi je omogućila svu moguću literaturu i pomogla svojim savjetima pri izradi ovog završnog rada i što je uvijek imala strpljenja i vremena za moje brojne upite.

Zatim se zahvaljujem svim svojim profesorima koji su nesebično u ove tri godine podijelili svoje znanje te koje će mi služiti u mom daljnjem školovanju.

Također se zahvaljujem svim svojim prijateljima i kolegama koji su mi uljepšali ovo razdoblje.

Posebno se zahvaljujem svom dečku koji je bio uz mene u svim sretnim, ali i teškim trenutcima i koji mi je pružao svoju bezuvjetnu podršku.

Na kraju se zahvaljujem svojoj obitelj ,i ali najveću zaslugu za svoj dosadašnji uspjeh pripisujem svojim roditeljima i bratu koji su uvijek bili tu uz mene i bez kojih sve ovo što sam do sada postigla ne bi bilo moguće.

Velika HVALA svima.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Iva Kesedžić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Bilinogojstvo

Uloga vodnog režima tla u hidrotehničkim melioracijama

Završni rad

Osijek, 2018.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Iva Kesedžić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Bilinogojstvo

Uloga vodnog režima tla u hidrotehničkim melioracijama

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. doc. dr. sc. Monika Marković, mentor
2. dr. sc. Vladimir Zebec, član
3. mr. sc. Miroslav Dadić, član

Osijek, 2018.

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. VODA U TLU 2
2.1. Oblici vode u tlu 2
2.1.1. Vezana voda 3
2.1.2. Slobodna voda 6
2.2. Kretanje vode u tlu 8
2.2.1. Kretanje vode u plinovitom stanju 9
2.2.2. Kretanje gravitacijske vode 9
2.2.3. Kretanje kapilarne vode 9
3. VODNE KONSTANTE TLA 11
3.1. Maksimalni vodni kapacitet (MKV) 11
3.2. Kapilarni ili retencijski vodni kapacitet (Kv) 13
3.3. Poljski vodni kapacitet (PVK) 14
3.4. Točka venuća (Tv) 17
3.5. Lentokapilarna vlažnost (LKV) 17
4. VODNE KONSTANTE U MELIORATIVNOJ PRAKSI 20
4.1. Pristupačna voda 21
4.2. Obrok navodnjavanja 22
5. VAŽNOST INFILTRACIJE I FILTRACIJE U MELIORATIVNOJ PRAKSI 24
5.1. Infiltracija 24
5.2. Filtracija 25
6. ZAKLJUČAK 27
7. POPIS LITERATURE 28

TEMELJNJA DOKUMENTACISKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Završni rad

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Bilinogojstvo
Iva Kesedžić

ULOGA VODNOG REŽIMA TLA U HIDROTEHNIČKIM MELIORACIJAMA

Sažetak: Vodni režim tla pruža uvid u oblike vode u tlu, odnosno opisuje pristupačnost vode u tlu. Pristupačnost vode ovisi o količini vode koja pristiže u tlo putem oborina ili navodnjavanja te o količini vode koja je potrošena od strane biljaka ili evaporacijom, površinskim otjecanjem ili otjecanjem u dublje slojeve tla. Navedeno čini vodnu bilancu koja je osnova planiranja i provođenja agrotehničkih mjera navodnjavanja i odvodnje. Vodni režim tla daje uvid u najvažnije vodne konstante koje su nezaobilazne u određivanju osnovnih elemenata navodnjavanja i odvodnje: maksimalni kapacitet za vodu (MKV), poljski vodni kapacitet (PVK), lentokapilarna vlažnost (LKV) i točka venuća (TV). Na osnovu vodnih konstanti određuje se obrok navodnjavanja te trenutak početka navodnjavanja.

Ključne riječi: voda, tlo, kretanje vode, infiltracija, filtracija, pristupačnost vode

29 stranica, 5 tablica, 1 grafikon, 9 slika, 18 literaturni navoda

Završni rad je pohranjen u Knjižnici Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agriculture in Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Plant production

BSc Thesis

THE IMPORTANCE OF WATER REGIME IN HYDROTECHNICAL AMELIORATION

Summary: Soil water regime gives insight in to the availability of water in soil. The availability of water depends on amount of water stored in soil, meaning the water balance. The change in water content may be positive (rainfall or irrigation) or negative (the amount of water used by plants, evaporation, surface and deep runoff). Water balance is the foundation for irrigation scheduling as well as the drainage of agricultural lands. It gives insights in to the maximum soil water capacity (MSWC), field water capacity (FWC), maximum soil water deficit (MSWD), and wilting point (WP). Estimation of soil water content is the groundwork for determine how much water to apply in one irrigation event and when to irrigate.

Keywords: water, soil, water movement, infiltration, filtration, water availability

29 pages, 5 tables, 1 figure, 9 pictures, 18 references

BSc Thesis is archived in Library of Faaculty of Agriculture in Osijek and in digital repository of Faculty of Agriculture in Osijek.

1. UVOD

Voda je jedan od najvažnijih čimbenika u ekosustavu. Pod utjecajem vode odvijaju se mnogi kemijski i fizički procesi u tlu, a u isto vrijeme ona otapa i premješta hranjive tvari kroz tlo. Voda također utječe na osobine tla te različite procese geneze i evolucije. Pod utjecajem vode odvija se fizičko i kemijsko raspadanje tvari u tlu. Ona je važna za rad mikroorganizama i pretvaranje organske tvari.

Područja planete Zemlje s pravilno raspoređenim oborinama tijekom godine, pokrivene su bujnom šumskom vegetacijom. Slično je i u nizinskim poplavnim područjima. Na područjima s izrazito čestim sušama i gdje većinom prevladava kontinentalna klima nema uvjeta za rast drveća, te su to prostrani travnjaci kao što su euroazijske stepe i sjeverno američke prerije. Daljnje smanjenje pristupačnosti vode dovodi do polupustinja i pustinja s vrlo oskudnim biljnim svijetom. Gubici u biljnoj flori uzrokovani vodnim stresom, tj. nedostatkom i suviškom vode su veći od gubitaka uzrokovani bilo kojim drugim abiotskim i biotskim čimbenikom.

Važnost vode može se prikazivati kroz njene različite uloge u biljnom organizmu:

- Voda tvori otopine u kojima se mogu odvijati različiti kemijski procesi, također voda služi kao otapalo. Voda koja se nalazi u biljkama sadrži različite otopljene soli, ione, aminokiseline te bjelančevine koje služe u različitim metaboličkim procesima unutar same biljke.
- Voda služi kao transportno sredstvo, noseći u sebi bilo otopljene, bilo koloidno raspršene različite tvari. Ona može služiti za transport tvari unutar stanice kao i na razini cijele biljke. Tako se u vodi transportiraju proizvodi fotosinteze, mineralna hraniva, fitohormoni i druge tvari između različitih biljnih organa.
- Voda ovlažuje stanične stjenke i uvjetuje njihovu propustljivost.
- Voda, zahvaljujući visokoj koncentraciji otopljenih tvari osigurava turgor biljke.

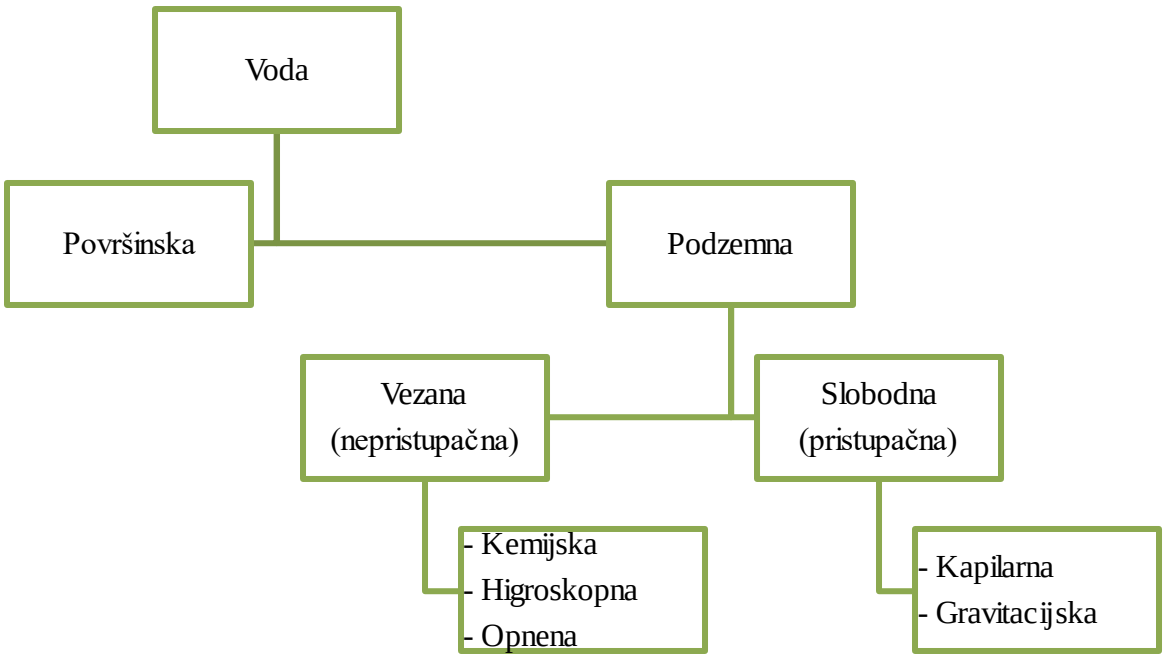
Unatoč svim pozitivnim i korisnim svojstvima koja voda pruža tlu i biljkama ona može imati i štetan utjecaj. Neki od njih su: preveliko kemijsko raspadanje, ispiranje gline, ispiranje lužina i hranjivih tvari, erozija, poplave, zaslanjivanje, stvaranje anaerobnih uvjeta i dr.

2. VODA U TLU

Količina vode u tlu izražava se u postocima bilo masenih (% mas.) ili volumnih (% vol.), u odnosu na apsolutno suho tlo, i ta količina se obično naziva vlažnost tla, koja predstavlja stupanj sadržaja vode u tlu. To znači da ne treba govoriti o vlazi u tlu, već o vodi u tlu.

2.1. Oblici vode u tlu

Voda se može javljati u tlu ili na površini tla. Voda koja nastaje kao rezultat oborina ili poplava naziva se površinska voda i ona uzrokuje erozije i odrone tla. Voda u tlu se javlja kao vezana voda i kao slobodna voda. U vezani oblik vode pripada: kemijski vezana voda, higorskopna voda, opnena voda, kapilarna voda i voda u obliku vodene pare, dok u slobodnu vodu pripada: gravitacijska, podzemna voda te voda u obliku leda (Vucić, 1987.). Oblici vode prikazani su slikom 1.



Slika 1. Oblici vode

2.1.1. Vezana voda

Kemijski vezana voda

Kemijska voda u tlu nalazi se kao sastavni dio građe minerala. Mnogi minerali sadrže vodu kao: gips ($CaSO_4 \times 2H_2O$) koji sadrži oko 21 % od težine te magnezijev klorid ($MgCl_2 \times 6H_2O$) oko 69,0 %. Uloga kemijski vezane vode je naročito velika kod slatina. Sekundarni, glineni minerali također sadrže vodu koja ulazi u sastav njihove kristalne rešetke. U takvim strukturama voda je nepokretna i nepristupačna biljkama. Zato takav oblik vode i nema značaja u ishrani biljaka. Količina kemijski vezane vode u tlu obično nije velika, no ponekad dostiže 5 do 7 %, pa čak i više.

Kemijski vezana voda u tlu se javlja u obliku konstitucijske i kristalizacijske vode. Kristalizacijska voda ulazi u sastav kristala i ona je slabije vezana od konstitucijske vode (Vucić, 1987.).

Voda u obliku vodene pare

U šupljinama i porama tla nalazi se voda u plinovitom stanju. Ovaj oblik vode se neprestano kreće i prelazi u druge oblike vode. Količina vode u obliku vodene pare se neprestano mijenja i u velikoj je ovisnosti od vlage i temperature zraka u tlu. S povećanjem temperature voda iz tla isparava, a sa sniženjem voda u plinovitom stanju se kondenzira i prelazi u tekuće stanje. Ovaj oblik vode je pristupačan biljkama, a značaj za opskrbu vodom ima tek poslije kondenzacije.

Fizički vezana voda

Fizički vezana voda u tlu javlja se u dva oblika i to kao :

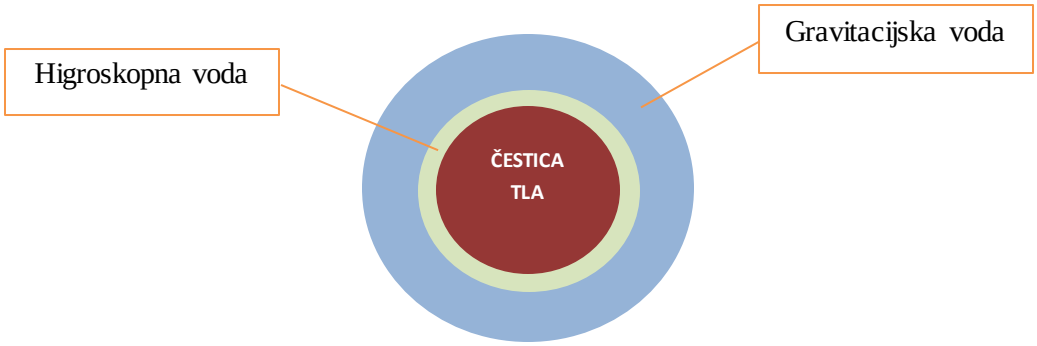
- Fizički čvrsto vezana voda – *higroskopna voda*
- Fizički slabo vezana voda – *opnena voda*

Higroskopna voda

Higroskopna voda se u obliku pojedinačnih molekula adsorbira na površini čestica tla. Ona je u ravnoteži sa vlažnosti zraka kojoj je upravo proporcionalna. To znači ako je relativna vlaga zraka veća i higroskopna vlažnost je viša.

Higroskopna voda se u obliku nekoliko slojeva molekula drži na površini koloidnih čestica tla silama površinske energije čiji tlak iznosi od 1000 do 2000 MPa. Ako temperatura raste vanjske molekule vode se odvajaju od čestica tla i odlaze u atmosferu i obrnuto, ako temperatura pada, a vlaga zraka raste, molekule vode se priljubljuju uz površinu koloidnih čestica tla. Biljke nisu u stanju koristiti ovu vodu zbog toga što je ona jačim silama vezana za tlo nego što je snaga korjenovog sustava.

Količina horoskopski vezane vode je upravno proporcionalna količini koloidnih čestica tj. njihovoj površini i sadržaju humusa. Tlo bogato humusom ili glinovito tlo imaju puno više higroskopno vezane vode nego humusom siromašna ili pjeskovita tla. Odnos higroskopne i gravitacijske vode prikazan je slikom 2 (Vucić, 1987.).



Slika 2. Odnos higroskopne i gravitacijske vode

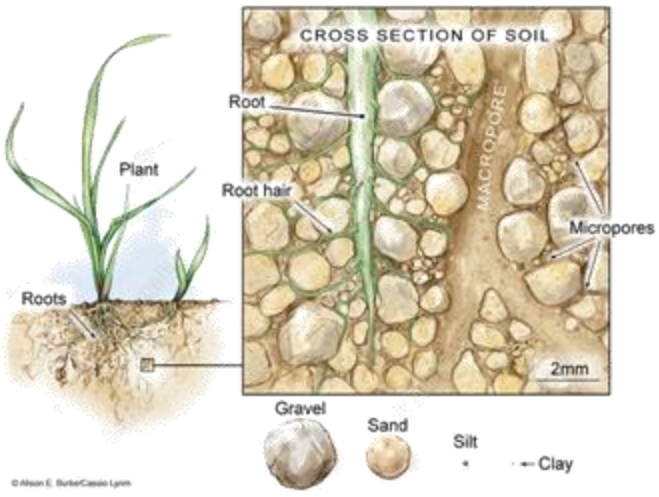
Opnena voda

Zona opnene vode nalazi se iznad zone higroskopne vode. Vezana je manjom snagom za koloidne čestice nego higroskopna voda, a većom snagom od kapilarne vode. Snaga za kojom je vezana varira od 0,1 do 1 MPa. Ova voda je sposobna premještati se u tlu. Premještanje teče od dijelova sa većom vlažnosti prema mjestima sa manjom vlažnosti.

Međutim brzina premještanja je vrlo mala pa je stoga opnena voda ograničeno dostupna biljkama.

Kapilarna voda

Kapilarna je voda je oblik vode koji se nalazi u kapilarama tla. U određenoj mjeri to je i točno, jer kapilarna voda u tlu ovisi od sile teže tla. Ipak kapilarna voda u tlu nastaje i postoji pod utjecajem fizičkih, kapilarno-mehaničkih sila, koje zadržavaju i drže ovaj oblik vode u tlu. Treba napomenuti da kapilarna voda ima veliku ulogu u otapanju i transportu topljivih soli te koloidnih, mineralnih i organskih čestica. Najveći dio koloidne vode je pristupačan samoj biljci, ali ipak postoji manji dio koji je biljkama nepristupačan. Kapilarna voda koja je nepristupačna biljkama ispunjava najsitnije pore u tlu koje su veličine manje i od 0,2 mikrometara. Kapilarna voda nakon kiše ostaje u tlu i dostupna je biljkama te nakon isušivanja ispunjava pore koje su veličine od 0,2 do 8,0 mikrometara. Dostupna biljkama kapilarna voda zadržava se u tlu poslije kiše, nakon prvog isušivanja i ispunjavanja pora promjera od 0,2 do 8,0 mikrometara. Odnos mikro i makropora u tlu prikazan je slikom 3. Maksimalna količina kapilarne vode koju tlo može primiti odgovara kapilarnoj poroznosti.



Slika 3. Odnos makro i mikro pora u tlu (izvor: www.pinterest.com)

2.1.2. Slobodna voda

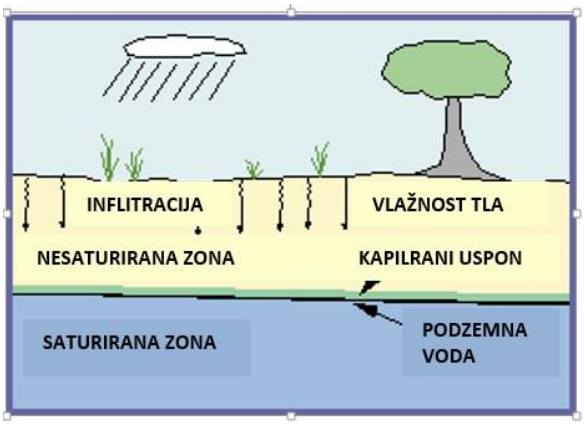
Slobodna voda se javlja u tri oblika: gravitacijska, podzemna i voda u obliku leda. Za sve oblike slobodne vode jedna stvar je zajednička, a to je kada se nalaze u tekućem obliku kreću se bočno i vertikalno pod utjecajem nagiba ili pod utjecajem gravitacije.

Gravitacijska voda

Gravitacijska voda je osnovni oblik slobodne vode u tlu. Ona brzo nakon kiše ispunjava krupnije pore tla i pod utjecajem sile teže otječe u dubinu ili bočno, niz nagib. Brzina kretanja ovisi od teksture tla, odnosno veličine pora u tlu. Ukoliko je tlo lakšeg mehaničkog sastava i sadrži veći sadržaj nekapilarnih pora tako će gravitacijska voda brže prolaziti kroz tlo i manje će se vode zadržavati u tlu. Postoje dva oblika gravitacijske vode: brza gravitacijska voda (kod krupnijih pora) i voda koja postepeno otječe (kod sitnijih pora). Gravitacijska voda se može zadržati i u najsitnijim nekapilarnim porama i po nekoliko dana tijekom vlažnog razdoblja. Nakon toga ona otječe uz pomoć vlastite težine.

Podzemna voda

Podzemna voda je drugi oblik slobodne vode i ona nastaje ako gravitacijska voda naiđe na nepropusni sloj tla. Podzemna voda može biti i u vezi s vodama iz rijeka i tada je ova voda blizu površine (1,0 do 2,5 m). Utjecaj podzemne vode na tlo ovisi od toga kolika joj je dubina te kakvog je sastava. Podzemna voda nema značaja za biljke ako je na velikoj dubini, ali ako se nalazi visoko i preblizu površine tla ona negativno djeluje na biljke. Biljkama je podzemna voda korisna kada je korijenju pristupačna uslijed kapilarnog uzdizanja, odnosno kada iz dubljih slojeva tla kapilarnim uzdizanjem dolazi do korijenovog sustava biljke (slika 4.). Podzemna voda ima veliki utjecaj na biljke i tlo ako u sebi sadrži topive soli.



Slika 4. Podzemna i površinska voda (izvor: www.imnh.isu.edu)

Voda u obliku leda

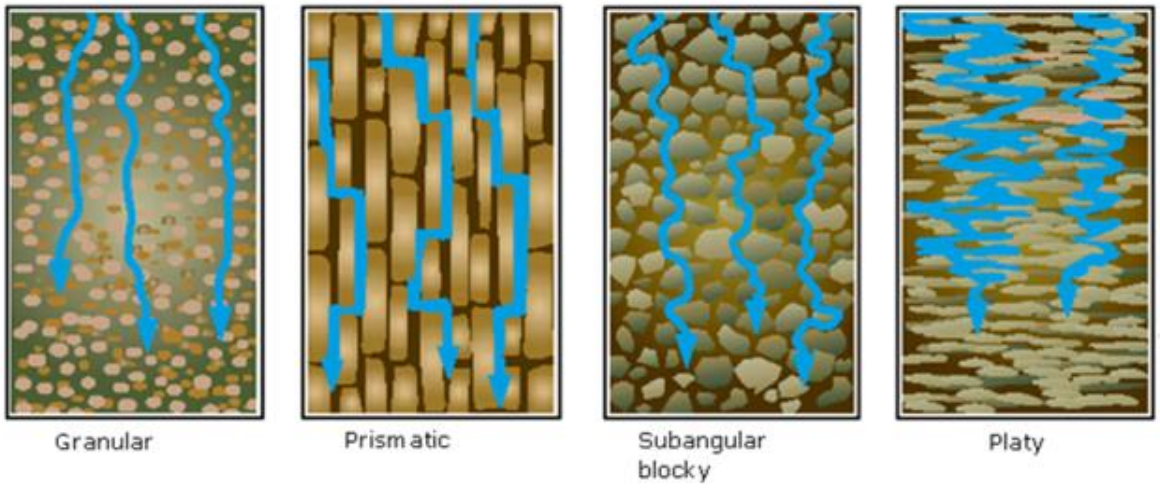
Voda u obliku leda odnosno u čvrstom obliku u tlu je specifičan oblik slobodne vode. Ovaj oblik vode nema veliki značaj za naša klimatska područja. Zbog smrzavanja i topljenja dolazi do pojave koja se naziva „golomrazica“, te ta pojava negativno utječe na tlo. Zbog golomrazice naročito propadaju mlade biljke (slika 5.).



Slika 5. Golomraznica na pšenici (izvor: www.agrobiz.večernji.hr)

2.2. Kretanje vode u tlu

Voda u tlu se kreće u plinovitom i u tekućem stanju te u različitim smjerovima. Najveći značaj za tlo i za biljke ima kretanje vode u tekućem stanju i to u vertikalnom smjeru. Postoje više smjerova kretanja vode: odozgo prema dolje (descendentno kretanje) pod utjecajem sile teže pa nosi naziv gravitacijsko kretanje vode kroz tlo. Nadalje postoji kretanje vode odozdo prema gore (ascedentno kretanje vode) i ono se odvija pomoću kapilarnih sila i predstavlja kretanje kapilarne vode. Postoje oblici vode koji se ne kreću nikako, djelomično ili potpuno. Tim oblicima vode pripadaju: voda u obliku leda, kemijski vezana voda, higorskopna voda te nepokretna kapilarna voda. Na slici 6. prikazani su oblici kretanje vode ovisno o strukturi tla (Vucić,1987.).



Slika 6. Kretanje vode u tlu ovisno o strukturi tla (izvor: www.nature.com)

2.2.1. Kretanje vode u plinovitom stanju

Voda u plinovitom stanju, tj. voda u obliku vodene pare, zauzima sve pore koje su slobodne u trenutku prolaska kroz njih. Može se kretati u dva oblika i to kao aktivna voda i kao pasivna. Aktivno kretanje vode je povezano sa difuzijom, a pasivno zrakom. U procesima kretanje vode u obliku vodene pare sudjeluju svi oblici vode u tlu. Kada se temperatura ustali na jednakoj visini tada voda u obliku pare premješta se od mjesta gdje je zrak tla više zasićen vodenom parom prema mjestu gdje je zasićenost manja. Kako je tlak vodene pare proporcionalan s temperaturom, tako se para premješta od mjesta gdje je temperatura viša prema mjestu gdje je temperatura niža (Vucić, 1987.).

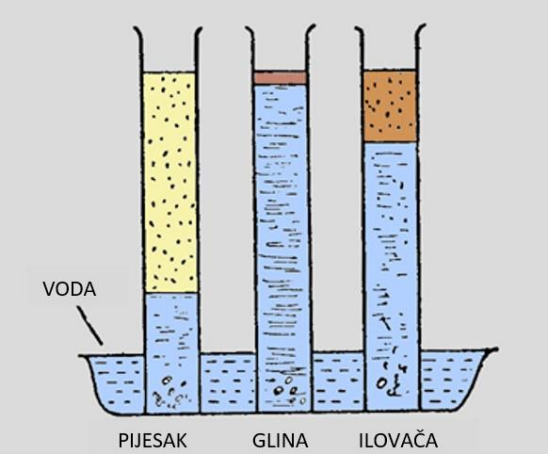
2.2.2. Kretanje gravitacijske vode

Do kretanja slobodne, gravitacijske vode dolazi onoga trenutka kada se sadržaj vode u tlu poveća iznad vododržive sposobnosti tla. Gravitacijska voda uz pomoć sile teže kreće se descedentno, prema dolje ili bočno po nagibu. Kretanje gravitacijske vode zavisi od niza čimbenika, na primjer ako je tlo suho kretanje je sporije tj. zadržava se. Prvo se dio gravitacijske vode koja se zadržala u tlu troši na vlaženje tla, te stvaranja opnene i kapilarne vode. Onog trenutka kada tlo dostigne vlažnost kapilarnog vodnog potencijala tada nastupa descedentno kretanje gravitacijske vode. Kretanje gravitacijske vode ovisi od strukture tla. Ukoliko je mehanički sastav tla teži gravitacijska voda se kreće sporije, a u nekim slučajevima i ostaje na površini tla, ali ako je mehanički sastav tla lakši i samo kretanje gravitacijske vode je brže (Vucić, 1987.).

2.2.3. Kretanje kapilarne vode

Ovo kretanje vode je jako značajno i ono je najintenzivnije u ljetnim mjesecima kada je površinski soj tla suh. Kretanje kapilarne vode najčešće se kreće ascedentno. Kapilarno kretanje vode ili kapilarnost označava se kao sposobnost tla da može kroz kapilare podizati vodu. Kretnje kapilarne vode ovisi od brojnih čimbenika, a neki od njih su: vlažnost tla, poroznost, temperatura, mehanički sastav tla, svojstva koloida te visina i brzina kapilarnog penjanja. Kretanje kapilarne vode ovisno o teksturi tla prikazano je slikom 7. Kapilarna voda se lakše kreće kroz glinena tla dok pojava tla koji je bogat pijeskom usporava ili čak

onemogućava kretanje kapilarne vode, jer ovakva tla, tj. aluvijalna tla ne sadržavaju kapilarne pore.



Slika 7. Kapilarno kretanje vode ovisno o teksturi tla (izvor: www.sciencefair-project.org)

Kretanje kapilarne vode najlakše i najbrže se obavlja u tlima sa velikom vlažnosti, dok u suhim tlima kretanje je sporije. Posebno brzo kretanje kapilarna voda ima u tlima gdje je kapilarna zona iznad razine podzemne vode. Kretanje kapilarne vode omogućuje korijenu biljaka uzimati vodu iz slojeva koji su dublji od rizosfere. Uz sve prednosti koje kapilarna voda ima za tlo i biljke ona svojim postojanjem i kretanjem čini i štetu. Uslijed kretanja ove vode može doći do jakog sušenja zemljišta, a ako se kreće kapilarna voda koja sadrži soli može doći i do zaslanjivanja (Vucić, 1987.).

3. VODNE KONSTANTE TLA

Općenito o vodnim konstantama

Kako bi se mogle odrediti granice između oblika i kategorija vode u tlu uvedene su vodne konstante tla. Vodne konstante tla predstavljaju sadržaj vode u tlu koji je pod određenim uvjetima te koji se mogu točno utvrditi. Vrijednost vodnih konstanti ovisi od fizikalnih i kemijskih svojstava tla kao i od primjene agrotehničkih mjera. One su promjenjive (iako nose naziv konstante, koji uobičajeno označava nešto čvrsto, stalno i nepromjenjivo) ovisno od prihoda (ulaska) i rashoda (izlaska) vode u tlu (Madjar i Šoštarić, 2009.). Najvažnije vodne konstante u tlu su sljedeće: poljski vodni kapacitet (PVK), lentokapilarna vlažnost (LKV), vlažnost (točka) venuća (VV) i maksimalni kapacitet tla za vodu (MKV). Sadržaj vode u tlu je dinamičan, pa stoga i vodne konstante nisu nepromjenjive vrijednosti jer dolazi do drenaže suvišne vode, evaporacije i transpiracije, priljeva vode u tlo oborinama te navodnjavanjem.

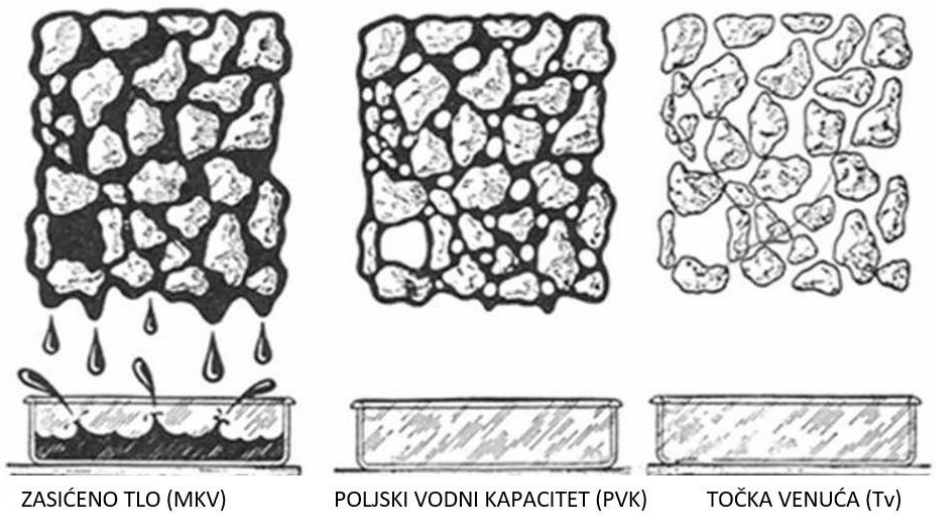
Prema pojedinim literaturnim navodima (Vorohin, 1984.; Smagin, 2003.; Smagin i sur., 2004.) kapacitet tla za vodu se odnosi na maksimalni kapacitet adsropcije (maximum adsorbtion capacity, MAC), maksimalni kapacitet sorpcije kapilara (maximum capillary sorption capacity, MCSC), kapacitet kapilarne vode (capillary water capacity, CWC), poljski vodni kapacitet (field capacity, FC), maksimalni kapacitet za vodu (maximum field capacity (MFC), minimalni vodni kapacitet (minimum water capacity, MWC).

3.1. Maksimalni vodni kapacitet (MKV)

Maksimalni vodni kapacitet (MKV) predstavlja stanje tla gdje su sve pore tla ispunjene vodom. Do MKV-a dolazi uslijed jakih kiša i naglog topljenja snijega. Također tlo je maksimalno zasićeno vodom i kada podzemne vode dospijevaju na površinu i tijekom velikih poplava. Tlo je u rijetkim situacijama i na kratko vremensko razdoblje zasićeno do vrijednosti MKV. Prilikom prezasićenosti tla vodom dolazi do gubitka kisika u tlu i javljaju se anaerobni uvjeti. Ta pojava jako šteti tlu i biljkama. Kod suviška vode u tlu dolazi do problema u opskrbi biljke kisikom (pojava anoksije = potpun nedostatak kisika i pojava hipoksija = smanjene količine kisika). Do pojave anoksije češće dolazi ako je temperatura

zraka iznad 20 °C, kada je potrošnja kisika disanjem korijena biljaka, faune tla i mikroorganizama veća nego pri nižim temperaturama. U takvim anaerobnim uvjetima ili pri nedovoljnoj koncentraciji kisika dolazi do promjena u metabolizmu stanica biljnog tkiva. Dolazi do intoksikacije stanica produktima alkoholnog vrenja i povećanja kiselosti citoplazme. Ove pojave mogu rezultirati odumiranjem stanica. Biljke koje pate od nedostatka kisika pokazuju znakove uvelosti, zbog nemogućnosti aktivnog prijenosa vode, a listovi pokazuju epinastičan rast (prema dolje) zbog povećane sinteze etilena. U takvim listovima povećana je koncentracija abscisinske kiseline koja inicira zatvaranje puči. Time se prekida transpiracijska struja i prijenos vode i hraniva u nadzemne dijelove biljke, što rezultira usporavanjem rasta. Držanje vode za čestice tla kod različitih vodnih konstanti prikazano je slikom 8.

Osim negativnog utjecaja na same biljke, suvišna voda negativno utječe i na samo tlo: narušena je struktura tla, prilikom isparavanja vode iz tla, gube se znatne količine toplinske energije i zbog toga su vlažna tla hladnija (2 do 7 °C) od suhih tala, sve pore su ispunjene vodom, u tlu nema dovoljno zraka i slaba je izmjena plinova, pojava erozije tla uzrokovane vodom.



Slika 8. Držanje vode za čestice tla kod različitih vodnih konstanti (izvor: www.thealmonddoctor.com)

3.2. Kapilarni ili retencijski kapacitet za vodu (Kv)

Kapilarni ili retencijski vodni kapacitet predstavlja količinu vode koje tlo sadrži nakon 24 ata pošto je prethodno bilo maksimalno zasićeno vodom. Na veličinu kapilarnog vodnog potencijala utječu mnogi čimbenici, ali najviše mehanički sastav tla. Na primjer ako tlo sadrži više koloidnih čestica veći je i kapilarni vodni potencijal. Na povećanje retencijskog vodnog kapaciteta veliki utjecaj ima humus.

Postupak određivanja Kv prikazan je u Škorić (1982.). Retencijski kapacitet računa se prema slijedećem izrazu:

$$\text{Kv (\%vol.)} = \frac{\text{mav} - \text{ms}}{\text{V}}\ x\ 100$$

Gdje je:

Kv = retencijski kapacitet tla za vodu, % vol.

m_{av} = masa apsolutno vlažnog uzorka tla, g

m_s = masa apsolutno suhog uzorka tla, g

V = volumen uzorka tla, odnosno cilindra Kopeckog, cm^3

Škorić (1991.) navodi klasifikaciju za interpretaciju vrijednosti Kv prikazana u tablici 1.

Tablica 1. Klasifikacija kapaciteta za vodu

Kapacitet za vodu	% vol.
Vrlo mali	< 25
mali	25 do 35
Srednji	35 do 45
Veliki	45 do 60
Vrlo veliki	> 60

3.3. Poljski vodni kapacitet (PVK)

Sadržaj vode koji ostaje u tlu 24 do 48 sati nakon obilnih kiša, navodnjavanja ili plavljenja naziva se poljski vodni kapacitet. Naziv „poljski“ uveden je zbog toga jer se vodni kapacitet određuje u uvjetima u polju. U melioracijskoj praksi se smatra da je poljski vodni kapacitet gornja granica optimalne vlažnosti tla (Madjar i Šoštarić, 2009.).

Taylor i Aschroft (1972.) navode kako je u tlu zamijećeno sporije kretanje vode nakon oborina ili navodnjavanja te su željeli odrediti vrijednost za to stanje pa je tako nastala teorija o PVK. Autori ovu vodnu konstantu objašnjavaju kao količinu vode koju sadrži dobro drenirano tlo i koja se opire sili teže, a nastaje kada je drenaža suvišne vode značajno smanjena. Nadalje, autori navode kako je ova vodna konstanta gornja granica biljci pristupačne vode. Kirkham (2014.) tvrdi kako PVK nije gornja granica biljci pristupačne vode jer se sva voda u tlu koja se ne drži jakim silama za čestice tla je pristupačna biljkama barem tijekom drenaže i prolaska kraj korijenovog sustava (gravitacijska voda).

Ovaj vodni kapacitet tla najbolje je određivati u proljeće kada se tlo zasiti vodom, a određivanje PVK ovisi o sastavu tla. Ako su tla lakšeg mehaničkog sastava onda se određivanje PVK mora odvijati brže nego što je to slučaj kod tala koja imaju teži mehanički sastav. Određivanje PVK odvija se 1 do 5 dana nakon prestanka kiše. Poljski vodni kapacitet je uvijek manji od kapilarnog tj. retencijskog vodnog kapaciteta, a može se izračunati tako da se kapilarni vodni kapacitet pomnoži sa faktorom za prevođenje u poljski vodni kapacitet (Antić i sur., 1982.). PVK se izražava u % i vrijedi samo za poljske uvjete, ne i za zaštićene prostore. Prema literaturnim navodima sadržaj vode u tlu kod matriks potencijala je – 0,033 MPa ili – 33 kPa (trećina bara).

Taylor i Ashcroft (1972.) navode kako PVK nije precizna konstanta jer descedentno kretanje vode uslijed drenaže zapravo nikada ne prestaje nego se samo usporava, ali traje dulje vremensko razdoblje pa stoga autori navode kako ne postoji konkretna vrijednost za PVK nego s tom vodnom konstantnom povezuju veći broj čimbenika.

Tablica 2. Pristupačna voda u tlu prema teksturi tla te poljskom vodnom kapacitetu (PVK, vol. %) i točki venuća (Tv, vol. %)

Tekstura	Poljski vodni kapacitet (vol.%)	Točka venuća (vol.%)
Pijesak	10	5
Ilovasti pijesak	12	5
Pjeskovita ilovača	18	8
Pjeskovito glinasta ilovača	27	17
Ilovača	28	14
Pjeskovita glina	36	25
Praškasta ilovača	31	11
Prah	30	6
Glinasta ilovača	36	22
Praškasto glinasta ilovača	38	22
Praškasta glina	41	27
Glina	42	30

(izvor: www.decagon.com.br)

Kirkham (2014.) cit. Hillel (1971.) navodi čimbenike koju utječu na vrijednost PVK. Autori navodi kako PVK ovisi o stanju vlažnosti tla u odnosnu na vlaženje u sušenje tla. Naime, tlo koje je saturirano vodom, a potom se suši ima veći PVK od suhog tla koje se vlaži. Nadalje autor pojašnjava važnost tekstura i strukture za PVK ovisno o dubini horizonta. Glinasta tla sadrže veću količinu vode dulje vremensko razdoblje u odnosu na pjeskovita tla. Osim sadržaja gline autor navodi kako je i tip gline važan za PVK jer je vrijednost PVK veća u tlima koja sadrže više montmorilonita. Osim sadržaja i sastava glinenih čestica, PVK će ovisiti i o sadržaju organske tvari jer se povećanjem organske povećava kapacitet za vodu. Kramer (1983.) navodi kako će PVK ovisiti o temperaturi tla, odnosno kako će vlažnost tla kod PVK biti smanjenja što temperatura tla raste. Kirkham (2014.) navodi utjecaj razine podzemne vode, dubine vlaženja tla te nepropusnih slojeva u tlu na vrijednost PVK. Autor pojašnjava kako će dubina vlaženja tla prilikom infiltracije biti veća što je tlo vlažnije. Nadalje, autor navodi kako prisutnost nepropusnog ili slabije propusnog sloja tla povećava vrijednost PVK.

Kišni kapacitet

Kišni vodni kapacitet predstavlja bilo koji vodni kapacitet tla ali izražen u milimetrima vodenog taloga. Na primjer ako je zemljište zasićeno vlagom 10 % do dubine 10 cm, onda je kišni vodni kapacitet jednak 100 mm ili ako padne 150 mm vodenog taloga i voda prodre do dubine od 15 cm, vlažnost se povećava za 10 % (Antić i sur., 1982.). Količina vodnog kapaciteta može pomoći pri određivanju količine vode koja je potrebna za navodnjavanje.

Koristan vodni kapacitet

Pojam koristan vodni kapacitet znači sva ona voda koja je pristupačna biljkama. Koristan vodni kapacitet se dobije tako da se od PVK (ukupna količina vode) oduzme mrtva vlaga tla (ukupna količina biljkama nepristupačne vode). Koristan vodni kapacitet je u direktnoj vezi sa mehaničkim sastavom tla, što je vidljivo iz tablice 3.

Tablica 3. Veza između korisnog vodnog kapaciteta i mehaničkog sastava tla

TEKSTURA TLA	POLJSKI VODNI KAPACITET, %	MRTVA VODA, %	KORISTAN VODNI KAPACITET, %
Pijesak	10,0	3,0	7,0
Ilovasti pijesak	20,0	8,0	12,0
Pjeskovita ilovača	30,0	12,0	18,0
Ilovača	35,0	15,0	20,0
Glinasta ilovača	40,0	22,0	18,0
Glina	45,0	30,0	15,0

(izvor: Antić i sur., 1982.)

Kao je vidljivo iz tablice 3. tla s većim vodnim kapacitetom tj. ukupnom količinom vode u tlu ne moraju sadržavati veću količinu korisne vode. Tako na primjer teška glinena tla imaju veći vodni kapacitet od tala s pjeskovitom ilovačom, ali nemaju veću količinu korisnog vodnog potencijala. Prema istraživanjima tla sa najviše korisnog vodnog potencijala su tla koja pripadaju u ilovače.

3.4. Točka venuća (Tv)

Točka venuća (Tv) predstavlja onu količinu vode u tlu pri kojoj biljke ne mogu obavljati svoje funkcije i dolazi do venuća. Voda se drži čvrstim silama za čestice tla tako da je biljka ne može usvojiti. Prema Briggs i Shantz (1912.) točka venuća je sadržaj vode u tlu (izražen u postocima) kod kojega dolazi do venuća listova uslijed vodnog stresa. Za ovu vodnu konstantu se smatra da je precizno utvrđena veličina.

Metoda za određivanje točke venuća prethodno je opisana od strane Taylor i Ashcroft (1972.). Biljka suncokreta (*Helinahus annuus* L.) je korištena kao biljka indikator. Posađena je u posude s 500 g tla. Biljci je dodavana dovoljna količina vode sve do faze razvoje dvije trećine lisne mase nakon čega je vrh posude zatvoren voskom. Nakon što biljka počne venuti postavi se u tamnu, vlažnu komoru kako bi se oporavila. Ako se biljka oporavi ponovno je se vraća na otvoreno. Proces se ponavlja sve dok biljka ne ostane uvenuta u komori 24 sata. Tada je sadržaj vode u tlu na vrijednosti točke venuća. Ako iz nekog razloga nije moguće odrediti Tv tada se procjenjuje da je sadržaj vode u tlu pri matrix potencijalu od – 1,5 MPa ili – 1500 kPa (- 15 bara).

Točka venuća uveliko ovisi od mehaničkog sastava tla. Na primjer do Tv najprije će doći u teškim glinastim tlima i u tlima koja sadrže velike količine grubih organskih tvari. Velike količine soli u tlu također utječu na pojavu Tv. Količina i brzina venuća raste porastom zaslanjenosti tla. Biljke koje venu mogu se oporaviti ako se suvišak soli ispere. Ali ako dođe do tog trenutka da se biljke ne mogu oporaviti i uz idealne uvjete onda se ta pojava naziva trajna točka venuća. Osim mehaničkog sastava tla točka venuća ovisi o sadržaju vode u različitim slojevima tla koji utječe na rast i rasprostiranje korijena. Potom ovisi o transpiraciji i temperaturi.

3.5. Lentokapilarna vlažnost (LKV)

Lentokapilarna vlažnost (LKV) dijeli slobodnu vodu od vezane vode u tlu. Veličina LKV otprilike iznosi 2 Hy i drži se u tlu snagom od 6,25 bara. Ova vlažnost ima praktičnu namjenu u navodnjavanju i predstavlja „tehnički minimum vlažnosti“ pri kojoj treba vršiti zalijevanje (Vucić, 1987.). Od LKV vlažnosti pa na niže prestaje normalno opskrbljivanje biljaka vodom. Na početku nema znakova gubitka turgora, ali ako se to stanje nastavi dolazi do

gubitka prinosa. Lentokapilarna vlažnost se određuje jednostavno iz pF krivulje ili direktno podvrgavanjem vlažnog uzorka tla tlaku od 6,25 bara u posebnom priboru (Vucić, 1987.).

Šimunić i sur. (2007.) pojašnjavaju metodu određivanja vodnih konstanti prema metodi pF aparature (tlačni ekstraktor i tlačna membrana). Tv određuje se kod tlaka od 15 bara, LKV kod 6,25 bara, a Kv kod 0,33 bara.

3.6. Trenutačna vlažnost tla

Trenutačna vlaga tla je sadržaj vlage u tlu u trenutku uzimanja uzoraka.
Trenutačnu vlagu tla potrebno je utvrditi pri određivanju poljskog kapaciteta tla za vodu, retencije vlage pri određenom pritisku (pF vrijednosti), te ostalih značajki za koje je bitna količina vode.
Određivanje trenutačne vlage tla ima posebno značenje prilikom navodnjavanja ratarskih ili povrćarskih kultura.

Za određivanje trenutačne vlage tla koriste se različite metode:

a) **termogravimetrijske metode** - na principu zagrijavanja uzoraka tla radi isparavanja vode i obračuna njenog sadržaja u %mas. ili %vol. To su na primjer:

- metoda sušenja uzoraka tla na 105 ^{0}C do konstantne mase
- metoda sušenja infracrvenim zrakama
- metoda ubrzanog sušenja u vrelom parafinu
- karbidna metoda sušenja uzoraka

b) **elektrometrijske metode najčešće** se koriste na terenu, a zasnivaju se na promjenama elektroprovodljivosti tla ovisno o vlažnosti. To su na primjer:

- metoda pomoću gipsanih blokova
- mjerenje pomoću tenziometara
- metoda na bazi radioaktivnog zračenja

Trenutačna vlaga računa se prema slijedećem izrazu (Škorić, 1982.):

$$\text{Trv}\ (\%\text{vol.}) = \frac{\text{mv} - \text{ms}}{\text{V}}\ \text{x}\ 100$$

Trv = trenutačna vlaga tla, % vol.

m_v = masa vlažnog uzorka tla, g

m_s = masa apsolutno suhog uzorka tla, g

V = volumen uzorka tla, odnosno cilindra Kopeckog, cm^3

4. VODNE KONSTANTE U MELIORATIVNOJ PRAKSI

Određivanje vodnih konstanti osnova je vodne bilance koja služi za izračun pristupačne vode, potrebne količine vode koju treba nadoknaditi navodnjavanjem te suvišak vode odnosno količinu vode koju je potrebno odvesti s proizvodne površine. U osnovi određuje se sadržaj vode u tlu pri svakoj od vodnih konstanti kako bi se odredila količina vode koju bi trebalo nadoknaditi obrokom navodnjavanja. Sadržaj vode u tlu može biti izražen u barima, pF vrijednostima ili cm vodnog stupca. Postoje različite metode kojom se određuje sadržaj vode u tlu odnosno vlažnost tla koje proizvođačima omogućuju određivanje trenutka početka navodnjavanja. Prije nego što pojedina metoda odnosno uređaj za mjerenje sadržaja vode u tlu može biti primijenjena, uređaj je potrebno umjeriti (baždariti).

Umjeravanje uređaja termogravimetrijom je pomoću izraza:

$$mas.\% = \frac{(mv - \ ms)}{ms} * 100$$

Gdje je:

mas. % = sadržaj vode u tlu (mas. %)

mv = masa vlažnog tla (g)

ms = masa suhog tla (g)

Na osnovu termogravimetrije (Evett i sur., 2008.) izrađuje se krivulja koja služi za interpretaciju rezultata mjerenja. Za primjer prikazana (grafikon 1.) je krivulja umjeravanja GMS (Granular Matrix Sensor) prema Marković (2013.).

Volumni sadržaj (vol. %) vode u tlu određuje se prema izrazu:

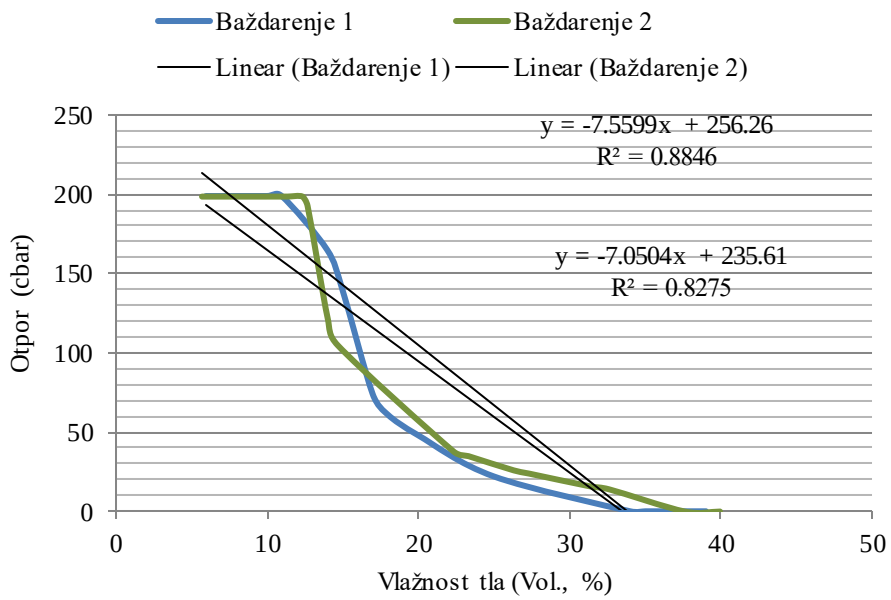
$$vol.\% = mas.\% * vt$$

Gdje je:

vol. % = vlažnost tla (vol. %)

mas. % = vlažnost tla (mas. %)

vt = volumna gustoća tla (g cm^{-3})

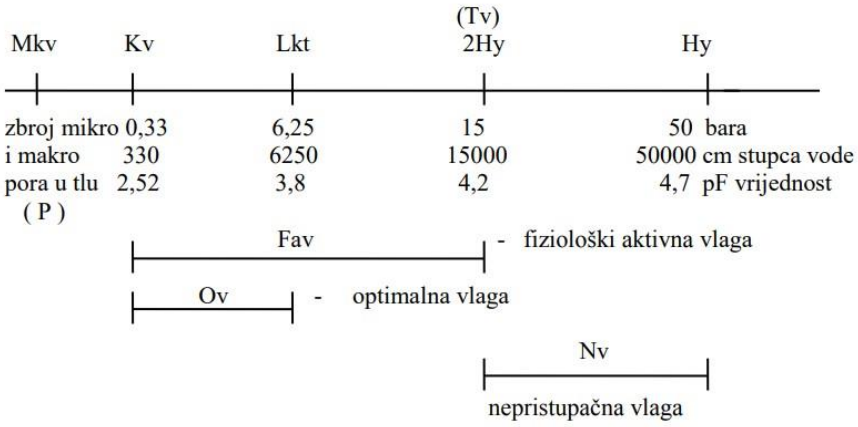


Grafikon 1. Krivulja umjeravanja GMS

U praksi trenutak početka navodnjavanja moguće je odrediti direktnim i indirektnim metodama. Direktne metode se odnosne na mjerenje sadržaja vode u tlu primjerice metodom termogravimetrije. Spomenuta metoda je destruktivna (narušavanje tla) i dugotrajna što je čini nepraktičnom. Stoga su u praksi navodnjavanja često korištene indirektne metode kojima se mjere varijable koje se mogu dovesti u vezu sa sadržajem vode u tlu (krivulje umjeravanja).

4.1. Pristupačna voda

Pristupačna vode je definirana kao razlika između poljskog vodnog kapaciteta i točke venuća, a izražava se u volumnim postocima (vol. %). Pristupačna voda ovisi o teksturi tla pri čemu će veći sadržaj pristupačne vode imati glinovito tlo u odnosu na tlo sa povećanim sadržajem pijeska. Šimunić i sur. (2007.) grafički prikazuju vodne konstante kako je vidljivo iz slike 9.



Slika 9. Prikaz vodnih konstanti

Navodnjavanjem se teži sadržaj vode u tlu održati na optimalnoj vlažnosti. Kako je prikazano slikom 9. optimalna vlažnost je sadržaj vode u tlu između PVK i LKV. Kod takvog sadržaja vode u tlu biljke ne oskudijevaju vodom, a ne dolazi do zadržavanja vode u gornjem sloju tla. Prema Taylor (1952.) sva pristupačna voda nije biljkama u jednakoj mjeri pristupačna pa se kod određivanja pristupačne vode u tlu uvodi se značenje lakopristupačne vode koja se odnosi na onaj sadržaj vode u tlu koji biljka može lako usvojiti. Kada sadržaj vode u tlu padne ispod vrijednosti LKV dolazi do otežanog usvajanja vode od strane biljaka te je nedostatak vode u tlu potrebno nadoknaditi navodnjavanjem. Dodavanjem obroka navodnjavanja sadržaj vode u tlu potrebno je nadopuniti od vrijednosti LKV do PVK.

4.2. Obrok navodnjavanja

Obrok navodnjavanja je količina vode koju dodajemo u jednom navodnjavanju. Obrokom navodnjavanja želi se navlažiti tlo do stanja poljskog vodnog kapaciteta. Poznavanjem vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta i trenutačne vlažnosti tla za određeno tlo znamo koliko vode je potrebno dodati. Iz toga zaključujemo da je razlika između PVK i trenutačne vlažnosti tla je obrok jednog navodnjavanja. Dubina tla do koje navodnjavanjem želimo navlažiti tlo, a tu dubinu određuje razvoj korijena, vrsti kulture i tla, te razvojnoj fazi biljke u konačnici određuje vrijednost obroka navodnjavanja. Opće je poznato da tla koja imaju lakšu teksturu npr. pjeskovita tla zahtijevaju češće navodnjavanje s manjim obrocima, a tla koja imaju težu teksturu (glinasta tla) podnose veće obroke i rjeđe navodnjavanje.

Obrok navodnjavanja se računa na dva načina ovisno o tome jesu li poljski vodni kapacitet (PVK) i trenutna vlažnost tla (Trv) izraženi u masenim ili volumnim postocima:

- Vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta i trenutne vlažnosti izražene u masenim % (mas.%):

$$O = 100 * vt * h * (PVK - Trv)$$

- Vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta i trenutne vlažnosti izražene u volumnim % (vol.%)

$$O = 100 * h * (PVK - Trv)$$

Gdje je:

O = obrok navodnjavanja u l/m^2
vt = gustoća tla u g/cm^3
h = dubina do koje se vlaži tlo (m)
PVK = poljski vodni kapacitet (%)
Trv = trenutačna vlažnost tla (%)

Učinkovito navodnjavanje zahtijeva sistematičan pristup u procjeni raspoložive vode za biljke kako bi se pravilno odredila količina vode koja se dodaje jednako kao i trenutak početka navodnjavanja te metoda navodnjavanja. Stoga je kontinuirano praćenje sadržaja vode u tlu neizostavno u određivanju elemenata navodnjavanja (obrok, norma, trenutak početka navodnjavanja) kako bi sadržaj vode u tlu bio u rasponu od PVK do LKV. Ozbiljniji pristup obuhvaća izračun evaporacije, količinu vode koju koristi biljka, količinu vode koja se dodaje navodnjavanjem, količinu vode koja otječe u dublje slojeve tla te količinu oborine. Kao rezultat ovakvog sistematičnog pristupa smanjeni su ekonomski gubici prouzrokovani navodnjavanjem prekomjernom ili premalom količinom vode smanjeni su na minimum. Nadalje postižu se visoki prinosi i kakvoća proizvoda, a onečišćenje okoliša uslijed ispiranja hraniva i drugih kemijskih sredstava svedena je na minimum.

5. VAŽNOST INFILTRACIJE I FILTRACIJE U MELIORATIVNOJ PRAKSI

5.1. Infiltracija

Proces kojim voda ulazi u tlo prilikom navodnjavanja, plavljenja ili tijekom oborina naziva se infiltracija. Nakon ulaska vode u tlo (infilitracije) dolazi do descendentnog kretanja (prema dolje) i ETo. Kretanje vode u tlu odvija se uslijed djelovanja sile gravitacije i kapilarnih sila tlo se vlaži od površine prema dubljim slojevima tla. Kada je tlo suho i pore prazne tj. u njima je samo zrak tada je i infiltracija najveća te se nakon toga vremenom smanjuje. Nakon nekog vremena određeni sloj tla se zasiti vodom pa vrijednost infiltracije postaje stalna veličina (nakon 3 do 5 sati upijanja). Gravitacija „vuče" vodu u dublje slojeve tla kroz velike pore uslijed čega prolazi kroz zonu korijenovog sustava pri čemu je u kratkom vremenu pristupačna biljkama. Kako voda prolazi kroz slojeve tla mikropore su ponovno popunjene zrakom što sprječava nastanak vodnog stresa izazvan suviškom vode. U mikroporama voda se kreće sporije u odnosnu na gravitacijsku vodu i to iz područja veće vlažnosti u područje manje vlažnosti. Upravo takvo lateralno kretanje vode u tlu je najvažnije za navodnjavane kulture jer omogućuje bolje vlaženje tla.

Infiltracija ovisi o nekoliko čimbenika, a neki od njih su: fizikalna svojstva tla, mehanički sastav tla, porozitet te trenutna vlažnost tla. Obrada poljoprivrednih površina ima veliki utjecaj na stanje infiltracijskih svojstava tla, te iz toga zaključujemo kako je u dobro obrađenim i strukturiranim tlima i vrijednost infiltracije vrlo povoljna. Infiltracija može biti „trenutačna", a izražava se količinom vode koja se upije u tlo u jedinici vremena (mm/sat) i „sumarna" koja predstavlja ukupnu količinu vode upijenu u tlo nakon određenog vremena (mm) (Madjar i Šoštarić, 2009.). Poznavanje vrijednosti infiltracije (tablica 4.) vrlo je važan podatak zbog reguliranja vode u tlu prilikom navodnjavanja otvorenih poljoprivrednih površina te staklenika i plastenika. Poznajući vrijednost infiltracije nekog tla moguće je uravnotežiti količinu i intenzitet dodavanja vode prilikom navodnjavanja.

Problem s infiltracijom nastaje kada voda koja je dodana navodnjavanjem ne prodire dovoljno brzo u tlo kako bi nadoknadila manjak vode za biljku. Ako je tome uzrok u kvaliteti vode tada se smanjena infiltracija u pravilu događa u gornjem sloju tla, nekoliko cm od površine no povremeno se može dogoditi i u dubljim slojevima tla. Infiltracija raste uslijed visoke koncentracije soli u natapnoj vodi, a smanjuje se uslijed smanjene koncentracije soli

ili povećanim relativnim sadržajem Na^+ u odnosu na Ca^{2+} i Mg^{2+} (Sodium Adsorption Ratio, SAR). Nizak sadržaj soli (< 0,5 dS/m) u natapnoj vodi, posebice smanjen sadržaj Ca^{2+} iona narušava strukturne agregate tla. Dolazi do disperzije sitnih čestica tla koje popunjavaju sitne pore i na taj način stvaraju nepropustan sloj tla što vodi ka smanjenoj infiltraciji (Ayers i Westcot, 1994.). Vrlo nizak sadržaj soli, < 0,2 dS/m u pravilu dovodi do smanjenja infiltracije bez obzira na SAR vrijednost. Višak Na^+ iona u natapnoj vodi također dovodi do disperzije čestica tla i kvarenja strukture tla, ali samo u slučaju ako je omjer za Na^+ i Ca^{2+} ione 3 : 1.

Tablica 4. Vrijednost trenutne infiltracije ovisno o mehaničkom sastavu tla

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

(izvor: Madjar i Šoštarić, 2009.)

5.2. Filtracija

Filtracija je kretanje vode kroz tlo koje je već zasićeno vodom pa je stoga važna za agrotehničku mjeru odvodnje suvišnih voda. Filtracija se odvija nakon završene infiltracije kada su sve pore tla ispunjene vodom (Madjar i Šoštarić, 2009.). Filtracija ovisi o mehaničkom sastavu tla, što je tlo lakšeg mehaničkog sastava i krupnijih čestica to ima veću filtraciju tj. vodopropusnost. Također kakvoća vode, osobito količina soli ima značajni učinak na filtraciju.

Pri filtraciji voda se uglavnom kreće kroz makropore, te ovisi o broju, oblicima i rasporedu makropora u tlu. U struci i literaturi susreću se još i sljedeći termini, sinonimi za proces filtracije vode: vodopropusnost, koeficijent filtracije (k), hidraulička provodljivost, propusnost tla za vodu, a izražava se u jedinicama mm/s, m/dan (Madjar i Šoštarić, 2009.).

Tablica 5. Klasifikacija vodopropusnosti tla

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

(izvor: Madjar i Šoštarić, 2009.)

6. ZAKLJUČAK

Sadržaj vode u tlu (vlažnost tla) je važan čimbenik u biljnoj proizvodnji koji utječe na procese klijanja i rasta biljaka, ishrane bilja, razlaganje organske tvari i dr. Pored toga određivanje sadržaja vode u tlu, odnosno vodnih konstanti je neophodno u planiranju i provođenju navodnjavanja, odvodnje te izrade modela i monitoringa u ekosustavima. Važnost vode može se prikazivati u njezinom utjecaju na mirkofloru. Za tlo i za biljke u tlu jako nam je važno kretanje vode u tlu i njena pristupačnost, vodne konstante, obrok navodnjavanja te infiltarcija i filtracija. Naime bez dovoljne količine vode u tlu, bez pristupačnosti vode u tlu i biljkama, biljke nisu u mogućnosti obavljati normalne životne funkcije.

7. POPIS LITERATURE

1. Antić M., Jović N., Avdalović V. (1982). Pedologija, Beograd.
2. Ayers, R. S., Westcot, D. W. (1994.). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Dostupno na: http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/T0234E00.htm#TOC, (25. 04. 2018.; 08 : 36)
3. Briggs, L. J., Shantz, H. L. (1912.). The wilting coefficient fo.r different plants and its indirect determination. USDA Bur. Plant Ind. Bull. No. 230. U.S. Dept. Agr: Washington, DC.
4. Evett, S. R., L. K. Heng, P. Moutonnet, Nguyen, M. L. (2008.). Field estimation of soil water content: A practical guide to methods, instrumentation, and sensor technology. IAEA-TCS-30. Intl. Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
5. Hillel, D. (1971.). Soil and Water. Physical Principles and Processes. Academic Press, New York.
6. Kirkham, M. B. (2014.). Chapter 10 – Field Capacity, Wilting Point, Available Water, and the Nonlimiting Water Range. Principles of Soil and Plant Water Relations (Second edition), 153 – 170.
7. Kramer, P. J. (1983.). Water Relations of Plants. Academic Press, New York, 489.
8. Madjar, S., Šoštarić, J. (2009.). Navodnjavanje poljoprivrednih kultura. Sveučilište J. J. Strossmayera, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
9. Marković, M. (2013.). Influence of irrigation and nitrogen fertilization on yield and quality of maize grain (Zea mays L.). PhD Thesis. Faculty of Agriculture, University of J.J. Strossmayer in Osijek, Osijek, Croatia.
10. Pedologija vježbe, Poljoprivredni fakultet Sveučilište J.J. Strossmayera Osijek, Croatia
11. Smagin, A.V. (2003.). Theory and methods of evaluating the physical status of soils, Eurasian Soil Sci., 36 (3): 301–312.
12. Smagin, A.V., Manucharov, A. S., Sadovnikova, N. B., Kharitonova, G.V., and Kostarev, I. A. (2004.). The effect of exchangeable cations on the thermodynamic state of water in clay minerals, Eurasian Soil Sci., 37 (5): 473–478.
13. Šimunić, I., Špoljar, A., Peremin Volf, T. (2007.): Vježbe iz tloznanstva i popravka tla (skripta). Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci.

14. Škorić, A. (1982.): Priručnik za pedološka istraživanja. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet Poljoprivrednih znanosti.
15. Taylor, S. A., (1952.). Use of mean soil moisture tension to evaluate the effect of soil moisture on crop yields. Soil Sci. 74, 217 - 226.
16. Taylor, S. A., Ashcroft, G. L. (1972.). Physical Edaphology: The Physics of Irrigated and Nonirrigated Soils. W.H. Freeman, San Francisco.
17. Voronin, A. D. (1984.). Strukturnofunktsional'naya gidrofizika pochv (Structural and Functional Hydrophysics of Soils), Moscow.
18. Vucić N. (1987.). Vodni, vazdušni i toplotni režim zemljišta, Novi Sad.

Popis slika

Slika 1. Oblici vode str. 2
Slika 2. Odnos higroskopne i gravitacijske vode str. 4
Slika 3. Odnos makro i mikro pora u tlu str. 5
Slika 4. Podzemna i površinska voda str. 7
Slika 5. Golomraznica na pšenici str. 7
Slika 6. Kretanje vode u tlu ovisno o strukturi tla str. 8
Slika 7. Kapilarno kretanje vode ovisno u teksturi tla str.10
Slika 8. Držanje vode za čestice tla kod različitih vodnih konstanti str. 12
Slika 9. Prikaz vodnih konstanti str. 22

Popis tablica

Tablica 1. Klasifikacija kapaciteta za vodu str. 13
Tablica 2. Pristupačna voda u tlu prema teksturi tla te poljskom vodnom kapacitetu (PVK, vol %) i točki venuća (Tv, vol %) str. 15
Tablica 3. Veza između korisnog vodnog kapaciteta i mehaničkog sastava tla str. 16
Tablica 4. Vrijednost trenutne infiltracije ovisno o mehaničkom sastavu tla str. 25
Tablica 5. Klasifikacija vodopropusnosti tla str. 26

Popis grafikona

Grafikon 1. Krivulja umjeravanja GMS str. 21