

VISOKO GOSPODARSKO UČILIŠTE U KRIŽEVCIMA



VJEŽBE IZ TLOZNANSTVA I POPRAVKA TLA
(skripta)

Autori: prof. dr. sc. Ivan Šimunić
mr. sc. Andrija Špoljar
mr. sc. Tomislava Peremin Volf

Križevci, 2007.

KAZALO

Stranica

1.	UVOD U TLOZNAJSTVENA ISTRAŽIVANJA S POSEBNIM OSVRTOM NA TERENSKA ISTRAŽIVANJA	4
2.	EKTO I ENDOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE TLA	6
3.	LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA	9
3.1.	FIZIKALNE ZNAČAJKE TLA	9
3.1.1.	Određivanje retencionog kapaciteta tla za vodu i momentalne vlage	9
3.1.1.1.	<i>Određivanje retencionog kapaciteta tla za vodu</i>	9
3.1.1.2.	<i>Određivanje momentalne vlage</i>	9
3.1.2.	Određivanje higroskopiciteta sušenjem zrakosuhog tla - fiziološki aktivna voda, točka venuća i neke važnije metode određivanja sadržaja vlage u tlu	10
3.1.3.	Određivanje gustoća tla	12
3.1.3.1.	<i>Volumna gustoća</i>	12
3.1.3.2.	<i>Gustoća čvrstih čestica</i>	12
3.1.4.	Određivanje ukupnog sadržaja pora u tlu	13
3.1.5.	Određivanje kapaciteta tla za zrak	14
3.1.6.	Neki važni elementi za hidropedološka računanja	14
3.1.6.1.	<i>Preračunavanje težine oraničnog sloja tla na bazi specifične volumne gustoće</i>	14
3.1.6.2.	<i>Računanje hidropedoloških konstanti i neka druga hidropedološka računanja</i>	14
3.1.7.	Određivanje kapilarnog uspona vode	16
3.1.8.	Određivanje mehaničkog sastava tla	17
3.1.9.	Stabilnost strukturnih makro i mikro agregata	20
3.1.9.1.	<i>Postupak određivanja stabilnosti makroagregata</i>	20
3.1.9.2.	<i>Postupak određivanja stabilnosti mikroagregata</i>	21
3.1.10.	Određivanje vertikalne propusnosti tla za vodu uz konstantni hidrostatski tlak i određivanje horizontalne vodopropusnosti	22
3.1.11.	Određivanje plasticiteta tla	23
3.2.	KEMIJSKE ZNAČAJKE TLA	26
3.2.1.	Određivanje zemnoalkalnih karbonata	26
3.2.1.1.	<i>Kvalitativno određivanje zemnoalkalnih karbonata</i>	26
3.2.1.2.	<i>Kvantitativno određivanje zemnoalkalnih karbonata</i>	26
3.2.2.	Određivanje aktivnog vapna u tlu	26
3.2.3.	Određivanje reakcije tla	27
3.2.4.	Određivanje količine vapna za kalcifikaciju	28
3.2.4.1.	<i>Određivanje hidrolitske kiselosti y_1 - modificirana metoda</i>	28
3.2.4.2.	<i>Određivanje supstitucijske kiselosti y_1 - modificirana metoda</i>	29
3.2.5.	Određivanje kapaciteta i stanja zasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla	29
3.2.6.	Određivanje karaktera humusa	31
3.2.7.	Određivanje količine humusa po Tjurinu	31
4.	Odabrano poglavlje iz Geodezije	33

4.1.	Račun površina	33
5.	ODVODNJA	39
5.1.	Odvodnja sustavom otvorenih kanala	39
5.2.	Odvodnja suvišnih voda sustavom cijevne drenaže	48
6.	NAVODNJAVANJE	56
6.1	Određivanje evapotranspiracije i bilance vode u tlu metodom Thornthwaitea	56
6.2.	Navodnjavanje kišenjem	62
7.	LITERATURA	68

1. UVOD U TLOZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA S POSEBNIM OSVRTOM NA TERENSKA ISTRAŽIVANJA

Tloznanstvo (pedologija) je znanost koja se bavi izučavanjem tla kao trofaznog sustava a se sastoji od krute, tekuće i plinovite faze.

Pedološka ili/i hidropedološka istraživanja provode se u cilju unapređenja poljoprivredne i šumarske biljne proizvodnje, u svrhu zaštite i unapređenja čovjekove okoline, prostornog planiranja i slično.

Provode se u tri faze:

- pripremna
- terenska
- kameralna

U pripremnoj fazi prikuplja se potreban pribor i alat za terenska istraživanja. Proučavaju se srodne znanstvene discipline radi dopunskih podataka koji se kasnije koriste u terenskim radovima, te u obradi i interpretaciji podataka. Podaci o reljefu kao čimbeniku preraspodjele vode i topline u tlu dobivaju se iz topografskih karata. Za izučavanje klime koriste se podaci iz godišnjih hidrometeoroloških izvješća i klimatskih karata. Ukoliko su na istraživanom području već ranije provedena istraživanja potrebno je i te podatke analizirati. Za područje Republike Hrvatske izrađena je Osnovna pedološka karta mjerila 1:50000, odakle se mogu dobiti osnovni podaci o tlima. Iz fitocenoloških karata može se doznati koje biljne vrste uspijevaju na istraživanom području. Poznato je, da biljka može biti indikator staništa: pa tako primjerice kopriva raste na tlima bogatim dušikom, vrba uz vodotoke, bukva podnosi niske pH vrijednosti, a hrast lužnjak visoku razinu podzemnih voda, itd. Za analizu matičnog supstrata koriste se geološke karte mjerila 1:100000. Poželjno je također utvrditi koji su vodoprivredni radovi izvođeni na istraživanom području, na primjer: regulacija vodotoka, izgradnja akumulacija, kanala, nasipa i slično. Za cijelo područje Republike Hrvatske postoje aerofotosnimci, koji uz pomoć stereoskopa daju trodimenzionalnu sliku terena. Kad se na ovakav način prikupe i analiziraju svi podaci pristupa se izradi pretpostavljene ili hipotetske pedološke karte, a sve metode koje se u tu svrhu koriste zovu se jednim imenom metodama fotointerpretacije. Fotointerpretacija pretpostavlja raspoznavanje, identifikaciju, klasifikaciju i sistematizaciju određenih pojava na površini zemlje i na aerofotosnimcima.

Terenska pedološka istraživanja provode se u svrhu upoznavanja fiziografskih značajki tala, te da se na osnovi njih izdvoje pojedine pedosistematske jedinice. Sastoje se iz rekognosciranja (upoznavanja) terena, otvaranja sondažnih bušotina, prikopki i profila. Pri rekognosciranju upoznaje se područje istraživanja kroz obilazak terena, pri čemu se bilježe svi relevantni pokazatelji (uz ceste, jame, kamenolome, gradilišta, ...) i približno se iscertavaju granice pedosistematskih jedinica na topografskoj osnovi. Nakon rekognosciranja (prvotne informacije o istraživanom području) pristupa se sondiranju terena pomoću različitih izvedbi svrdla. Broj otvorenih sondi i pedoloških profila ovisi o namjeni, detaljnosti istraživanja i heterogenosti područja. Kod detaljnih istraživanja i pedološki heterogenijih područja, broj opažanja će biti veći. Sondiranjem se sukcesivno slažu izvaci tla pri čemu se dobiva pregled boja, utvrđuje redoslijed i približna dubina horizonata (pothorizonata, slojeva), određuje

tekstura valjanjem valjčića, zatim se pomoću 10 % - tne klorovodične kiseline kvalitativno određuju karbonati, a temeljem ovako utvrđenih endomorfoloških (unutrašnjih) značajki determinira se pedosistematska jedinica tla. Za detaljna izučavanja endomorfologije i uzimanje uzoraka za fizikalnu, kemijsku i mikrobiološku analizu koriste se pedološki profili tla. Otvaraju se na mjestima za koja se pretpostavlja da najviše odgovaraju prosječnim osobinama pedosistematske jedinice. Kopaju se u veličini 170 x 100 cm do matičnog supstrata. Profil se smješta tako da prednja strana bude dobro osvjetljena (sjeverna strana), a nasuprotno se izrađuju stepenice radi lakšeg silaženja. Ponovimo: pedološki profili omogućuju detaljno izučavanje endomorfoloških značajki tla - sklopa profila kojeg čine horizonti sa svojom bojom, izraženošću, debljinom, prijelazom iz jednoga u drugi, teksturom, strukturom, poroznošću i specifičnim pedodinamskim tvorevinama (nakupine lakotopivih soli, iscjetanja i kongrecije gipsa, nakupine kalcijevog karbonata, nakupine seskvioksida, silicijevog dioksida, organske uklopine i različite tvorevine faune tla).

Nakon izučavanja endomorfologije i determinacije pedosistematske pripadnosti tala slijedi uzimanje uzoraka za fizikalne i kemijske analize. Pojedinačni uzorci za kemijske analize i analize mehaničkog sastava uzimaju se odozdo prema gore u profilu i to za svaki izdvojeni horizont ili pothorizont. Ako su uzorci tla bez skeleta dovoljno je uzeti 1 do 1,5 kg tla s naznakom lokaliteta, broja profila i dubine s koje je uzorak uzet. Takvi uzorci kasnije se suše, mrve i prosijavaju kroz sito od 2 mm, a ovako dobiveno tlo zove se sitno tlo ili sitnica. Za fizikalne analize uzorci se uzimaju u cilindre po Kopeckom volumena 100 ccm i to odozgo prema dolje u profilu za svaki pojedinačni horizont ili pothorizont. Cilindri moraju biti obilježeni brojem, a u posebni formular naznačuje se osim broja i dubina uzimanja uzoraka. Ako je uzorak dobro zaštićen od vanjskih utjecaja može se iz njega odrediti momentalna vlaga, međutim češće se za tu svrhu uzima uzorak u bočice dobro zatvorene gumenim čepom. Uzimaju se i prosječni uzorci iz kojih se laboratorijskim metodama utvrđuje opskrbljenost tla hranivima. Općenito se smatra da je za jednoličnu površinu do 1 ha dovoljan jedan prosječni uzorak u količini od 0,5 do 0,75 kg, sastavljen od 15 do 20 pojedinačnih. Međutim, ako se table po svojim značajkama međusobno razlikuju sa svake je potrebno uzeti jedan prosječni uzorak. Za oranice uzorak se uzima do 30 cm dubine, a za voćnjake i vinograde potrebno je uzeti tlo sa dvije dubine (od 0 do 30 cm i od 30 do 60 cm). Tlo se najčešće uzimaju sondom za prosječne uzorke. Radi dopunskih endomorfoloških istraživanja uzimamo monolite tla, najčešće u posebno izrađene kutijice. Potrebno je uzeti svaki pojedinačni horizont ili pothorizont, a na kutijici se naznači broj profila i dubina sa koje je uzorak tla. Za zbirke, izložbe i slično, monoliti se uzimaju metodom otiska profila tla pomoću lakova i ljepila ili se uzimaju prirodne prizme tla u sanduke načinjene za tu svrhu.

U posljednjoj kameralnoj fazi vrše se laboratorijske analize, obrađuju i interpretiraju podaci, izrađuje konačna verzija pedološke ili hidropedološke karte s razgraničenjem pedosistematskih jedinica, te daju preporuke i mjere uređenja zemljišta.

2. EKTO I ENDOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE TLA

Pod ektomorfološkim (vanjskim) značajkama tla razumijeva se reljef, te živi i mrtvi pokrov terena.

Reljef svojim isponima, udubljenjima i ravnica te horizontalnim i vertikalnim dimenzijama direktno utječe na pojedine procese kao što su: erozija, intenzitet navlaživanja, eluvijacija, zagrijavanje tla, itd.

Živi pokrov tla je vegetacija (pripada u organizme tla koji su pedogenetski čimbenik), pa prema tome ima znatan utjecaj na procese postanka tala, a pri terenskim istraživanjima, u sklopu rekognisciranja, daje vrijedne prvotne informacije.

Mrtvi pokrov čine šljunkoviti i kameniti skelet, mrtva organska tvar, te tekuće i stajaće vode.

Ektomorfološke značajke pružaju polazne informacije o tlu, dakle, samo smjernice za daljnja istraživanja.

Uvid u endomorfološke značajke (unutrašnje) omogućava vertikalni presjek tla do matičnog supstrata odnosno pedološki profil. Izučavanjem endomorfološkog uočava se sklop tla kojeg čine horizonti sa svojom teksturom, strukturom, bojom, poroznošću, prijelazom iz jednoga u drugi, debljinom, slijedom i izraženošću, te specifičnim pedodinamskim tvorevinama. Debljina horizonata govori o karakteru, intenzitetu i duljini trajanja procesa. Suma svih horizonata čini dubinu soluma tla. Posebno je interesantna dubina zakorjenjivanja odnosno ekološka dubina tla, pa se tako ukupna dubina - solum tla najčešće ne poklapa s ekološkom dubinom. Prijelaz iz jednog u drugi horizont ili pothorizont može biti oštar (unutar 3 cm), izrazit (od 3 do 5 cm) i postupan (više od 5 cm). Boju tla čine kemijski i mineraloški sastav, a sve boje u tlu rezultat su kombinacije crne, crvene i bijele. Različite nijanse sivih i crnih boja rezultat su većeg ili manjeg sadržaja humusa u tlu. Crvena, rudo smeđa, žuta i narančasta potječu od oksida trovalentnog željeza, bezvodnih ili do različite mjere hidratiziranih. Bijela potječe od silicijevog dioksida, kalcijevog karbonata, kaolina i hidroksida aluminijskog. Pod utjecajem vode željezo prelazi u dvovalentni oblik pa prevladavaju zelenkaste i plavkaste boje (ferosulfat $\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ i ferofosfat ili vivijanit $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8 \text{H}_2\text{O}$).

Tekstura odnosno nakupljeni mehanički elementi koji se slabijim fizičkim silama dalje ne mogu dijeliti na terenu određuje se valjanjem valjčića pod prstima. Glina se modelira do 1 mm, ilovača do 2,5 mm, a pijesak se ne može valjati.

Struktura tla na terenu razlikuje se po veličini i obliku. Po veličini strukturne agregate možemo podijeliti na mikroagregate (do 0,25 mm), mezoagregate (od 0,25 do 2 mm) i megaagregate (veće od 2mm).

Po obliku razlikujemo :

1. kockaste ili kubiformne - horizontalne osi i vertikalna os ravnomjerno su razvijene
2. plosnate ili laminiformne - vertikalna os slabije je razvijena od horizontalnih
3. stubaste ili prizmatične - horizontalne osi slabije su razvijene od vertikalne

Za naša tla najznačajniji su kockasti agregati koji se dijele na:

1. praškaste (do 0,5 mm)
2. sitno i krupno mrvičaste (od 0,5 do 5 mm)
3. graškaste (od 5 do 10 mm)
4. orašaste (od 1 do 3,5 cm)
5. sitno i krupno grudaste (više od 3,5 cm)

Najpovoljniji su agregati mrvičaste do graškaste strukture.

Kao rezultat pedogenetskih procesa javljaju se specifične pedodinamske tvorevine, a to su :

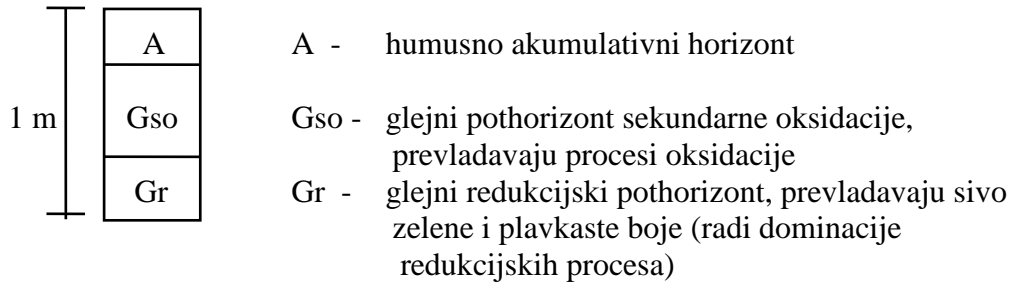
1. nakupine lakotopivih soli Ca, Mg i Na, javljaju se u slanim tlima,
2. iscvjetanja i konkcije gipsa ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$), javljaju se u aridnim i semiaridnim područjima,
3. nakupine kalcijevog karbonata (vapnene pjege i mrlje, pseudomiceliji i praporne lutke u černozemima),
4. nakupine seskvioksida (oksidi željeza, aluminijska i mangana), u tlima humidnih područja,
5. Nakupine silicijevog dioksida u obliku bijele kremene prašine na površini strukturnih agregata ili bijelih jezičaka,
6. nakupine, izlučine i organske uklopine (korijenje, miceliji gljiva, jezičci huminskih kiselina, ...),
7. tvorevine faune tla.

Na kraju ovog razmatranja daje se vertikalni presjek nekoliko pedosistematskih jedinica (interpretacija prema Škorić i sur., 1985.).

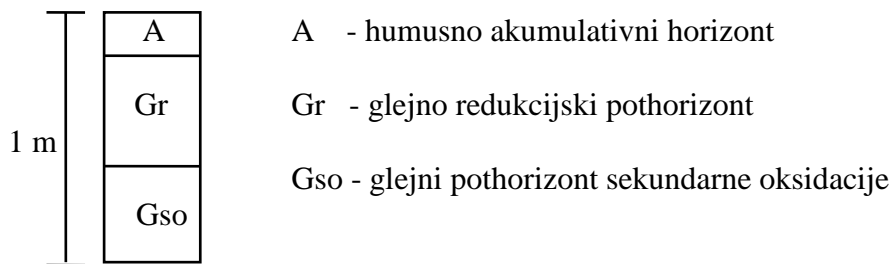
Pedosistematska jedinica: Pseudoglej ili Podzoluisol (prema FAO, 1990.)

A	A - humusno akumulativni horizont
Eg	Eg - eluvijalni horizont s izrazitim mramoriranjem, lakši po teksturi i ima manje seskvioksida
Btg	Btg - iluvijalni horizont koji je izrazito prošaran mazotinama seskvioksida i teksturno teži
Cg	Cg - rastresiti dio matičnog supstrata sa znakovima pseudooglejavanja

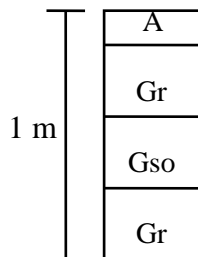
Pedosistematska jedinica: Euglej – hipoglej ili Gleysol (prema FAO, 1990.)



Pedosistematska jedinica: Euglej – epiglej ili Gleysol (prema FAO, 1990)



Pedosistematska jedinica: Euglej - amfiglej ili Gleysol (prema FAO, 1990.)



Kroz terensku nastavu koja će biti organizirana u okolici Učilišta i na Kalniku studenti će se detaljno upoznati s terenskim istraživanjama, od rekognisciranja terena, upoznavanja ektomorfoloških značajki pa do otvaranja pedoloških profila radi uzimanja uzoraka i izučavanja endomorfologije.

3. LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA

3.1. FIZIKALNE ZNAČAJKE TLA

3.1.1. Određivanje retencionog kapaciteta tla za vodu i momentalne vlage

3.1.1.1. Određivanje retencionog kapaciteta tla za vodu

Retencijski kapacitet tla za vodu (K_v) predstavlja onu količinu vode koju tlo može držati svojim unutrašnjim silama u mikroporama nakon cijeđenja vode iz makropora tla.

Postupak :

Uzorak tla u cilindru po Kopeckom od 100 ccm stavlja se na stalak s filter papirom koji svojim rubovima ponire u vodu tako dugo dok se ne orosi površina. Uzorak se nakon toga stavlja na suhi filter papir u trajanju od pola sata da se iz makropora odstrani suvišna voda. U tom momentu u mikroporama se nalazi voda, a u makroporama je zrak, odnosno tlo je zasićeno do retencionog kapaciteta za vodu.

Odvage u gramima:

- navlaženo tlo do K_v zajedno s poklopcima i cilindrom,
- keramička zdjelica,
- cilindar s poklopcima,
- tlo posušeno na 105°C sa zdjelicom

Retencijski kapacitet tla za vodu računa se pomoću sljedeće jednadžbe :

$$K_v = \frac{\text{masa vlažnog tla} - \text{masa apsolutno suhog tla}}{100} \times 100, \% \text{ vol}$$

Vrijednosti kapaciteta tla za vodu (K_v) interpretiraju se na osnovi sljedeće klasifikacije (Škorić, 1991.):

Kapacitet tla za vodu (K_v)	% vol
vrlo mali	< 25
mali	25 - 35
srednji	35 - 45
veliki	45 - 60
vrlo veliki	> 60

3.1.1.2. Određivanje momentalne vlage

Momentalna vlaga (M_v) određuje se tako da se od mase momentalno vlažnog tla oduzme masa apsolutno suhog tla, a dobivena vrijednost izražava se u masenim ili volumnim postocima. Ako je poznat volumen tla (100 ccm za cilindar po Kopeckom) onda se obračun vrši u % vol, a ako se uzorak uzima u bočice onda je obračun u % mas.

3.1.2. Određivanje higroskopiciteta sušenjem zrakosuhog tla - fiziološki aktivna vlaga, inertna vlaga, točka venuća i neke važnije metode određivanja sadržaja vlage u tlu

Higroskopicitet je vlaga koju tlo sadrži kod 96 % - tne relativne vlage a postiže se u evakuiranom eksikatoru iznad 10 % - tne H₂SO₄ pri sobnoj temperaturi. To je vlaga koja je vezana u tlu vrlo jakim tlakom od 50 bara i biljkama je nepristupačna. Dvostruka vrijednost higroskopne vlage (Hy) po Mitscherlichu odgovara točki venuća (Tv) odnosno ravnotežnom stanju držanja vode između koloida tla i sisajuće snage korijena biljke. Sisajuća snaga kulturnih biljaka iznosi između 6 i 16 bara. Vlaga koja se drži većim tlakom od snage sisanja korijena zove se nepokretna, mrtva ili inertna vlaga i biljkama je nepristupačna. Vrijednosti između retencionog, apsolutnog, poljskog kapaciteta tla za vodu ili njima analognih vrijednosti i točke venuća bilju su pristupačna voda ili fiziološki aktivna vlaga (Fav).

Postupak određivanja higroskopiciteta (Hy) sušenjem zrakosuhog tla:

Odvagne se 5 g zrakosuhog tla u prethodno odvagnuti keramički lončić i suši se na 105 °C do konstantne težine.

Vrijednost Hy i Tv dobije se na sljedeći način:

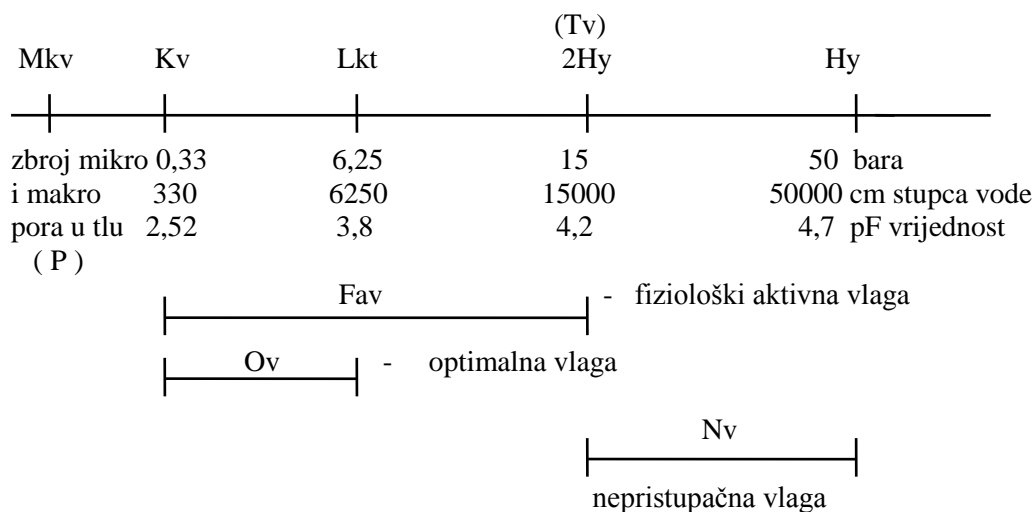
$$\text{gubitak vlage sušenjem} = \frac{5 \text{ g zrakosuhog tla} - \text{masa potpuno suhog tla}}{\text{masa potpuno suhog tla}} \times 100, \% \text{ mas}$$

$$\text{Hy} = \% \text{ mas. gubitka vlage sušenjem} \times 2,2$$

$$\text{Tv} = 2 \text{ Hy}, \% \text{ mas.}$$

U laboratoriju postoje i druge metode određivanja sadržaja vlage u tlu. Vrijednosti kapaciteta tla za vodu, točke venuća i lentokapilarne točke određuju se pomoću tzv. pF aparature (tlačnim ekstraktorom i tlačnom membranom). Princip određivanja je u tome da se sitnica saturira destiliranom vodom i podvrgne određenom tlaku. Voda što se drži tim ili manjim tlakom uz koloidne tla bit će istisnuta iz uzorka, a ona koja se drži jačim tlakom ostaje, i to je upravo voda koja odgovara određivanoj hidropedološkoj konstanti. Točka venuća (Tv) određuje se pomoću tlačne membrane kod tlaka od 15 bara, a lentokapilarna točka (vlaga) Lkt kao donja granica optimalne vlage u tlu, određuje se istim aparatom kod tlaka od 6,25 bara. Kapacitet vode u tlu, koji odgovara gornjoj granici optimalne vlage u tlu (minimalni vodni kapacitet), određuje se u tlačnom ekstraktoru kod 0,33 bara.

Radi pojašnjenja naznačenih vodnih konstanti daje se njihov grafički prikaz, slika 1.

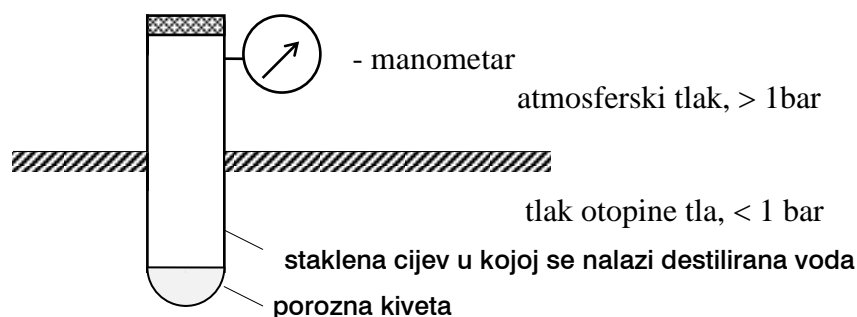


Slika 1: Grafički prikaz vodnih konstanti

Maksimalni kapacitet tla za vodu odgovara vrijednosti ukupnog poroziteta (P) ili zbroju mikro i makro pora u tlu, a računa se iz gustoća tla o čemu će još biti govora. Vrijednosti sadržaja vlage u tlu mogu se izraziti u barima, u cm vodnog stupca i u pF vrijednostima, a odgovaraju logaritamskim vrijednostima cm vodnog stupca. Novija jedinica za sadržaj vlage u tlu je Pascal (1 bar = 10^5 Pa).

Do sada su opisane laboratorijske metode određivanja sadržaja vlage u tlu, međutim postoje i terenske, a ukratko ćemo u tekstu opisati samo najznačajnije. Za određivanje sadržaja vlage u tlu kod nas se najčešće koriste tenziometri, konduktometri, a postoje još neutronske i gama mjerači.

Tenziometri su uređaji koji se sastoje od manometara, s mogućnošću registriranja do jednog bara, staklene cijevi koja se puni prokuhanom destiliranom vodom i porozne kivete. Rade na principu parcijalnog vakuuma u odnosu na pozitivni tlak zraka. Radi daljnjeg pojašnjenja potrebno je protumačiti pojam tenzije. Tenzija je sila kojom čestice tla na sebe navlače vodu i izražava se negativnim tlakom. Slika 2 prikazuje princip rada tenziometra.



Slika 2: Princip rada tenziometra (prema Vidaček i sur., 1993.)

Prokuhana destilirana voda će kroz poroznu kivetu izlaziti tako dugo u tlo dok se ne uspostavi ravnotežno stanje tlakova(atmosfera-tlo), a manometar će taj podtlak registrirati kao stanoviti manjak vode u odnosu prema kapacitetu za vodu. Nedostatak tenziometra je što njime možemo mjeriti samo gornji dio fiziološki aktivne vlage u tlu, pa je zbog toga pogodan za mjerenja u stakleničkim uvjetima proizvodnje gdje se sadržaj vlage u tlu održava negdje blizu poljskog kapaciteta tla za vodu.

Konduktometar i njemu pripadajući gips ili najlon blokovi rade na principu otpora kojeg tlo pruža toku električne struje, a vrijednost otpora u ohmima ili postotak fiziološki aktivne vlage u tlu očitava se na skali instrumenta. Veći sadržaj vlage u tlu pretpostavlja manju vrijednost očitnog otpora na skali instrumenata i obrnuto.

Neutronske mjerače ima radioaktivni izvor koji u tlo odašilje brze neutrone a njih usporava vodik i kao takve ih registrira detektor uređaja. Na osnovi kalibracionih krivulja očitava se postotni udio vlage u tlu.

Gama mjerač radi na principu odašiljanja gama zraka. Na osnovi kalibracionih krivulja vrši se očitavanje postotnog udjela vlage u tlu.

3.1.3. Određivanje gustoća tla

DEFINICIJA: Gustoća tla je broj koji pokazuje koliko puta je neki volumen tla teži ili lakši od istog takvog volumena vode.

Razlikujemo gustoću čvrstih čestica (ρ_c) i volumnu gustoću tla (ρ_v). Odnos između mase potpuno suhog tla (M_{st}) i njegovog volumena u prirodnom stanju predstavlja volumnu gustoću tla (100 ccm za cilindar po Kopeckom), a ako se masa tla podijeli s njenim volumenom bez pora (V_t) tada se radi o gustoći čvrstih čestica tla.

3.1.3.1. Volumna gustoća

$$\rho_v = \frac{M_{st}}{100}, \text{ g/cm}^3$$

Vrijednosti volumne gustoće s dubinom rastu i kreću se najčešće u granicama 1,0 - 1,6.

3.1.3.2. Gustoća čvrstih čestica

Postupak određivanja :

Potpuno suho tlo, posušeno na 105 °C, mrvljuje se u tarioniku, prosijava kroz sito i od toga odvagane 10 g u keramičku zdjelicu. Dodaje se 30 ml destilirane vode i kuha uz lagano miješanje staklenim štapićem na plameniku sa svrhom da se odstrani zrak. Suspenziju tla i vode potrebno je ohladiti, prenijeti u piknometar, dopuniti piknometar destiliranom vodom, zatvoriti zabrušenim čepom, temperirati i vagnuti. Ispražnjeni piknometar puni se prokuhanom destiliranom vodom, također temperira i važe. Volumen neporozne mase tla računa se prema sljedećoj jednadžbi:

$V_t = (T_p + 10) - T_{pt}, \text{ cm}^3$ pri čemu je:

T_p - težina piknometra s vodom

T_{pt} - težina piknometra s vodom i tlom zajedno.

$$\rho_c = \frac{10}{V_t}, \text{ g/cm}^3$$

Vrijednosti gustoće čvrstih čestica kreću se najčešće od 2,4 do 2,9.

Prave i volumne gustoće tla imaju vrlo široku primjenu u praksi, pa se primjerice koriste za izračunavanje težine oraničnog sloja tla, zatim kod proračunavanja fiziološki aktivnih hraniva u tlu, za izračunavanje hidropedoloških konstanti, pretvaranje mas. % vlage u tlu u volumne, izračunavanje količine organske tvari u tlu, ukupnog poroziteta i slično.

3.1.4. Određivanje ukupnog sadržaja pora u tlu

Ukupni sadržaj pora u tlu (P) odgovara vrijednosti maksimalnog kapaciteta tla za vodu (M_{kv}), odnosno zbroju mikro (kapilarnih) i makro (nekapilarnih) pora u tlu.

$$P = \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_c}\right) \times 100, \text{ \% vol.}$$

Veličina pora, njihov oblik i odnos s krutom fazom tla su različiti i direktno utječu na vodne, zračne i toplinske značajke tla.

Ukupna poroznost teških tala (P) veća je u odnosu na ukupnu poroznost lakših, što ne znači da teška tla imaju povoljnije uvjete aeracije. Lakša tla su prozračnija, toplija i s tim u svezi biološki aktivnija.

Vrijednosti ukupnog sadržaja pora u tlu (P) interpretiraju se na osnovi sljedeće klasifikacije:

Sadržaj pora, P (%)

> 60

46 - 60

30 - 45

< 30

Tlo

vrlo porozno

porozno

malo porozno

vrlo malo porozno

3.1.5. Određivanje kapaciteta tla za zrak

Vrijednost kapaciteta tla za zrak (Kz) dobije se ako od ukupnog poroziteta (P) oduzmemo kapacitet tla za vodu (Kv).

$$Kz = P - Kv, \% \text{ vol}$$

3.1.6. Neki važni elementi za hidropedološka računanja

Za različita hidropedološka i druga računanja nužno je poznavati sljedeće:

$$\begin{aligned} \% \text{ mas.} \times \rho_v &= \% \text{ vol} \\ \% \text{ vol} \times \text{dm dubine tla} &= \text{mm} \\ 1 \% \text{ vol} &= 1 \text{ mm} / \text{dm} \\ 1 \text{ mm} &= 1 \text{ l/m}^2 \\ 10\,000 \text{ l/ha} &= 10 \text{ m}^3 \text{ vode} \\ 1 \text{ ha} &= 10\,000 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3.1.6.1. Preračunavanje težine oraničnog sloja tla na bazi volumne gustoće

Izračunaj težinu sloja oranice od 30 cm dubine za površinu 1 ha, ako je $\rho_v = 1,5$.

$$\begin{aligned} &\underline{\text{za } 1 \text{ m}^2} \\ &100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 10\,000 \text{ cm}^2 \times 30 \text{ cm} = 300\,000 \text{ cm}^3 \\ &\underline{\text{za } 1 \text{ ha}} \\ &300\,000 \times 10\,000 = 3\,000\,000\,000 \text{ cm}^3 / 1000 \text{ za } 1 \\ &3\,000\,000 \text{ l} \times 1,5 = 4\,500\,000 \text{ kg/ha} \\ &= 4\,500 \text{ t/ha} \end{aligned}$$

3.1.6.2. Računanje hidropedoloških konstanti i neka druga hidropedološka računanja

Vrijednosti hidropedoloških konstanti mogu se izraziti u masenim i volumnim postocima, u mm i m^3/ha .

Maseni postoci vode u tlu pretvaraju se u volumne tako da se množe volumnom gustoćom tla. Ako primjerice želimo izraziti neku vodnu konstantu u mm tada vrijednost u volumnim postocima množimo decimetrima dubine tla jer 1 % volumni odgovara 1 mm za dubinu od 1 dm. Da bi se hidropedološke konstante izrazile u m^3/ha potrebno je dobivene vrijednosti u mm pomnožiti s 10 jer 1 mm odgovara 1 l/m^2 , budući da 1 ha ima $10\,000 \text{ m}^2$, što je $10\,000 \text{ l/ha}$, odnosno $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ vode ($1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ l}$).

To su vrlo važni elementi za sva hidropedološka računanja, kao primjerice: izračunavanje vrijednosti hidropedoloških konstanti, preračunavanje fiziološki aktivne vlage u tlu, potrebne količine vode koju treba dodati natapanjem da se tlo zasiti do poljskog vodnog kapaciteta i slično.

Ovako izračunate vrijednosti vodnih (hidropedoloških) konstanti mogu se grafički prikazati pomoću tzv. pF krivulja ili krivulja retencije vlage u tlu.

Primjeri :

1. Koliko vode sadrži sloj tla od 0 - 20 cm kod Pkv, izraziti u mm i m³/ha ako su laboratorijskim istraživanjima dobivene sljedeće vrijednosti :

$$K_v = 25,3 \text{ \% mas}$$

$$\rho_v = 1,2$$

$$25,3 \text{ \% mas} \times 1,2 \times 2 \text{ dm} = 60,72 \text{ mm}$$

$$60,72 \text{ mm} \times 10 = 607,2 \text{ m}^3/\text{ha}$$

2. Koliko nepristupačne vode (Nv) sadrži sloj tla 0 - 30 cm izraženo u mm i m³/ha, ako je Tv = 12,3 % mas i ρ_v = 1,2

$$N_v = T_v \times \rho_v \times \text{dm dubine tla} = 12,3 \times 1,2 \times 3 = 44,28 \text{ mm}$$

$$44,28 \times 10 = 442,8 \text{ m}^3/\text{ha}$$

3. Izračunaj količinu Fav sloja od 0 - 45 cm izraženu u mm i m³/ha ako je :

$$P_{kv} = 35,6 \text{ \% vol}$$

$$T_v = 21,2 \text{ \% vol}$$

$$P_{kv} = 35,6 \text{ \% vol} \times 4,5 \text{ dm} = 160,2 \text{ mm} = 1602 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$T_v = 21,2 \text{ \% vol} \times 4,5 \text{ dm} = 95,4 \text{ mm} = 954 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$F_{av} = P_{kv} - T_v = 64,8 \text{ mm}, \quad 648 \text{ m}^3/\text{ha}$$

4. Koliko treba dodati vode u l/m² i m³/ha natapanjem za sloj tla od 0,5 m do 80 % od Pkv, ako je :

$$M_v = 17 \text{ \% mas} \quad (\text{momentalna vlaga})$$

$$P_{kv} = 32 \text{ \% mas}$$

$$\rho_v = 1,4$$

$$M_v = 17 \text{ \% mas} \times 1,4 = 23,8 \text{ \% vol}$$

$$P_{kv} = 32 \text{ \% mas} \times 1,4 = 44,8 \text{ \% vol} \times \frac{80}{100} = 35,84 \text{ \% vol} \quad (80 \text{ \% } P_{kv})$$

Pkv - Mv = potrebna količina vode za natapanje

$$35,84 \text{ \% vol} - 23,80 \text{ \% vol} = 12,04 \text{ \% vol}$$

$$12,04 \text{ \% vol} = 12,04 \text{ mm/dm} = 12,04 \text{ l/m}^2$$

$$12,04 \text{ l/m}^2 \times 5 \text{ dm} = 60,2 \text{ l/m}^2 \times 10 = 602 \text{ m}^3/\text{ha}$$

5. Nacrtaj krivulju retencije vlage ili tzv. pF krivulju, te izračunaj u mm i m³/ha vrijednosti hidropedoloških konstanti i vrijednost biljkama pristupačne vode za sloj tla 0 - 30 cm.

Mkv = 45 % vol, Pkv = 35 % vol, Lkt = 20 % mas, Tv = 16 % mas i ρ_v = 1.2

$$M_{kv} = 45 \text{ \% vol} \times 3 \text{ dm} = 135 \text{ mm} = 1350 \text{ m}^3/\text{ha}$$

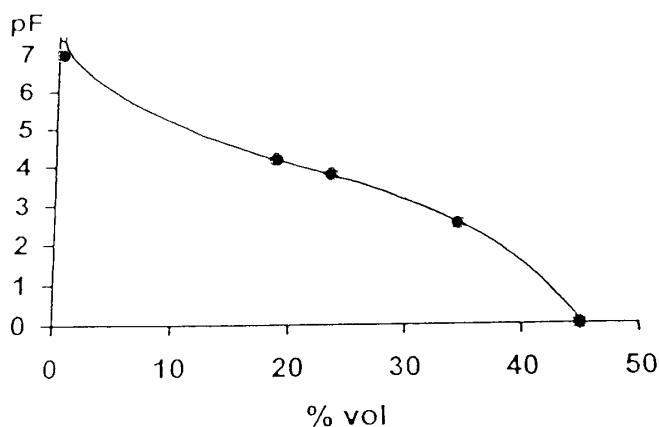
$$P_{kv} = 35 \text{ \% vol} \times 3 \text{ dm} = 105 \text{ mm} = 1050 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$L_{kt} = 20 \text{ \% mas} \times 1,2 \times 3 \text{ dm} = 72 \text{ mm} = 720 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$T_v = 16 \text{ \% mas} \times 1,2 \times 3 \text{ dm} = 57,6 \text{ mm} = 576 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$F_{av} = P_{kv} - T_v = 47,4 \text{ mm} = 474 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Krivulja retencije vlage u tlu (pF krivulja) crta se tako da se na ordinatu nanose pF vrijednosti za pojedine vodne konstante, a pripadajuće vrijednosti vlage u tlu nanose se na apscisu u % vol. Graf 1 prikazuje krivulju retencije vlage u tlu.



Graf 1: pF krivulja

3.1.7. Određivanje kapilarnog uspona vode

Kapilarni uspon ili kapilarna elevacija je sposobnost tla da podiže vodu iz donjih horizonata profila u gornje. Do kapilarne elevacije dolazi zbog djelovanja kapilarnih sila, kao i sila površinske napetosti. Ovisi o: strukturi, mehaničkom sastavu, teksturi, promjeru kapilarnih pora u tlu i slično.

Na osnovi visine i brzine kapilarnog uspona procjenjujemo mehanički sastav tla i dajemo ocjenu vodnog režima.

Postupak:

Pripreme se tri karakteristična uzorka tla različita po mehaničkom sastavu, pripremljeno sitno tlo stavlja se u staklene cijevi promjera 2 cm, dugačke 1 m, dobro se protresu radi slijeganja sitnice. Na dnu cijevi nalazi se mrežica ili gaza. Ispod ovako pripremljenog uzorka stavljaju se posude s destiliranom vodom tako da razina vode bude nekoliko cm iznad ruba cijevi i nakon 5 sati vrši se očitavanje.

Na temelju kapilarne elevacije očitane nakon 5 sati možemo ocijeniti vodni režim tla pomoću sljedećih interpretativnih graničnih vrijednosti:

Uspon vode	Ocjena vodnog režima
do 75 mm	loš - vrlo teška tla
75 - 150 mm	osrednji - teška tla
150 - 250 mm	vrlo dobar - lakša tla
250 - 300 mm	slabo drže vodu - vrlo laka tla

3.1.8. Određivanje mehaničkog sastava tla

Uzorke tla koji dođu sa terena u više ili manje porušenom stanju treba najprije posušiti na zraku u za to predviđenoj prostoriji. Takvi uzorci najprije se mrve, a zatim se prosijavaju kroz sito od 2 mm. Tako priređeno tlo zove se sitno tlo ili sitnica, a koristimo ga za analize mehaničkog sastava i za kemijske analize. Kako bismo odredili pojedine kategorije čestica (čestice tla različitih dimenzija) potrebno je sitnicu najprije dezagregirati, pa ih tek onda možemo odvajati po veličini. U svrhu pripreme sitnice za analizu najčešće se kod nas koristi internacionalna B metoda i priprema uzorka pomoću natrijevog pirofosfata.

a) Internacionalna B metoda

U keramičku zdjelicu od 300 ml vagne se 20 g tla i prelije s 200 ml destilirane vode, promiješa i ostavi stajati 24 sata, zatim se pripremljena suspenzija prokuha 2 sata na plameniku i ohladi.

b) Priprema uzorka pomoću Na - pirofosfata

U erlenmajerovu tikvicu od 300 ml vagne se 10 g sitnice i prelije s 25 ml Na - pirofosfata i ostavi stajati neko vrijeme.

Određivanje frakcije krupnog pijeska

Pripremljena suspenzija tla i vode ili Na - pirofosfata kvantitativno se prenosi preko sita od 0,2 mm i lijevka u cilindar 1000 ml. Na situ ostaje frakcija krupnog pijeska, dakle čestice od 0,2 do 2 mm. Cilindar se nadopuni destiliranom vodom do oznake za 1l. Sadržaj sa sita prenosi se kvantitativno u keramičku zdjelicu, a zatim u prethodno odvađnuti lončić A. Višak vode se dekantira. Lončić se stavlja na vodenu kupelj radi sušenja i poslije toga važe.

Obračunavanje frakcije krupnog pijeska (P) u %

1. Internacionalna B metoda

20 g tla - 100 %
odvaga (A)g - X

$$X = \frac{Ag \times 100}{20}, \%$$

2. Na - pirofosfat

10 g tla - 100 %
odvaga (A)g - X

$$X = \frac{Ag \times 100}{10}, \%$$

Preostale kategorije čestica određuju se postupkom pipetiranja (prah + glina i glina) ili računski (sitni pijesak, prašak)

Određivanje frakcije praha i gline (Pr + G)

Nakon određivanja frakcije krupnog pijeska određuju se čestice praha i gline zajedno, postupkom pipetiranja. Čestice dimenzija praha i gline nalaze se nakon horizontalnog mućkanja u trajanju od 1 min točno na dubini od 10 cm nakon 4 min i 48 sek. Svrha ovog mućkanja je homogenizacija suspenzije, pa se na svakih 10 ml suspenzije nalazi 0,2 g ili 0,1 g tla, ovisno o metodi koja se radi. Dakle, nakon 4 min i 48 sek izvodi se pipetiranje 10 ml suspenzije s dubine od 10 cm, zatim se ispipetirani sadržaj prenese u prethodno odvađnuti keramički lončić B, suši na vodnoj kupelji i važe.

Obračunavanje frakcije praha i gline (Pr + G)

1. Internacionalna B metoda

$$0,2 \text{ g tla} \quad - 100 \% \\ \text{odvaga (B) g} - X$$

$$X = \frac{Bg \times 100}{0,2}, \%$$

2. Na - pirofosfat

$$0,1 \text{ g tla} \quad - 100 \% \\ \text{odvaga (B) g} - 0,0068 \text{g Na pirofosfata} - X$$

$$X = \frac{Bg - 0,0068 \text{g Na pirofosfata} \times 100}{0,1}, \%$$

Određivanje frakcije gline (G)

Frakcija gline, odnosno čestice manje od 0,002 mm, određuju se pipetiranjem 10 ml suspenzije u odvagnuti lončić C s dubine od 5 cm nakon prethodnog mućkanja i stajanja uzorka u trajanju od 4 sata ili s dubine od 10 cm nakon prethodnog stajanja od 8 sati. Suspenzija se posuši na vodnoj kupelji i zatim vagne na preciznoj vagi.

Obračunavanje frakcije gline (G)

1. Internacionalna B metoda

$$0,2 \text{ g tla} \quad - 100 \% \\ \text{odvaga (C)g} - X$$

$$X = \frac{Cg \times 100}{0,2}, \%$$

2. Na - pirofosfat

$$0,1 \text{ g tla} \quad - 100 \% \\ \text{odvaga (C)g} - 0,0068 \text{g Na pirofosfata} - X$$

$$X = \frac{Cg - 0,0068 \text{g Na pirofosfata} \times 100}{0,1}, \%$$

Frakcija praha dobije se računskim putem :

$$Pr = (Pr + G) - G, \%$$

Postotni udio sitnog pijeska dobije se ako se od sto postotne količine oduzme suma svih preostalih kategorija čestica :

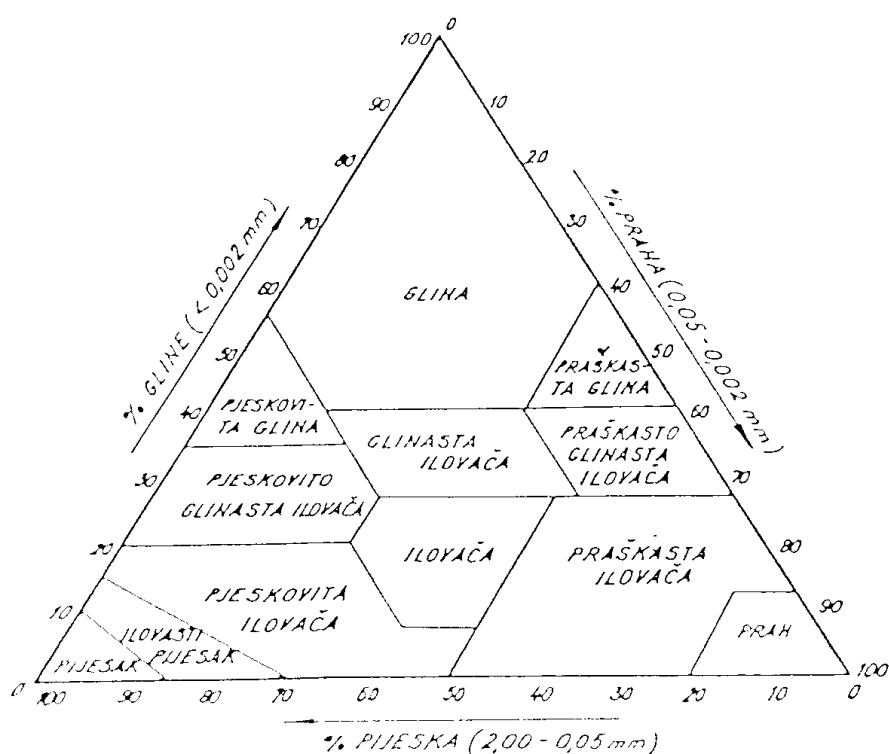
$$\text{sitni P} = 100 \% - \sum Pr + G + \text{krupni P}$$

Na temelju postotnih udjela pojedinih kategorija čestica možemo odrediti teksturu tla. Postoje različiti načini klasificiranja teksture. Prema klasifikaciji po Attebergu (cit. Škorić, 1982.) teksturna oznaka određuje se na osnovi postotnog udjela praha i gline zajedno. Isti autor klasificira mehanički sastav na osnovi praha, gline i pijeska (sitni+krupni) gdje su tla razvrstana u četiri grupe i trinaest klasa.

U našim laboratorijima najčešće su u primjeni interpretacije na temelju triangularnog grafikona po Gračaninu ili američka klasifikacija teksture (Soil Survey Staff, 1951.). Interpretacija dobivenih vrijednosti može se izvršiti pomoću sljedeće klasifikacije:

Teksturna oznaka	Sadržaj praha, % ($< 0,02$ mm)	Sadržaj gline, % ($< 0,002$ mm)
pjeskulja	do 10	do 4
ilovasta pjeskulja	10 - 20	4 - 9
pjeskovita ilovača	20 - 30	9 - 15
ilovača	30 - 40	15 - 20
glinasta ilovača	40 - 50	20 - 25
ilovasta glina	50 - 70	25 - 36
(teška) glina	> 70	> 36

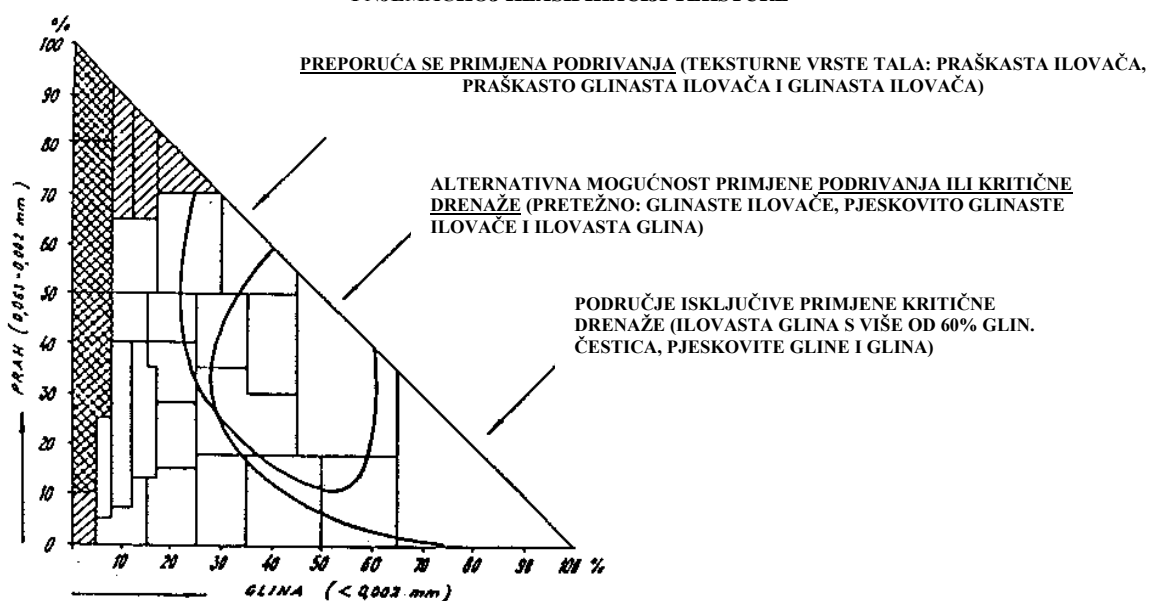
Interpretaciju teksture po trokutu prikazuje graf 2:



Graf 2: Graf za interpretaciju teksture (Soil Survey Staff, 1951.)

Na osnovi mehaničkog sastava (postotnog udjela praha i gline) mogu se preporučiti dodatne mjere za poboljšanje vodo-zračnih značajki tla, ili pak potreba za filter materijalom kod izvođenja drenaže, graf 3.

IZBOR PODRIVANJA ILI KRITIČNE DRENAŽE PREMA MEHANIČKOM SASTAVU I NJEMAČKOJ KLASIFIKACIJI TEKSTURE



OCJENA POTREBE FILTRACIONOG MATERIJALA U HORIZONTIMA 0,8 – 1,5 m DUBINE PROFILA

- SREDNJA OPASNOST OD PRIMARNOG I SEKUNDARNOG ZAMULJIVANJA (SITNI I VRLO SITNI PIJESCI, ILOVASTI PRAH)
- VELIKA OPASNOST OD PRIMARNOG I SEKUNDARNOG ZAMULJIVANJA (PRAŠKASTI PIJESCI PRAH I PJEŠKOVITI PRAH)

Graf 3: Ocjena potrebe izvođenja dodatnih mjera i opasnost od zamuljivanja

Mehanički sastav direktno utječe na vodo-zračne značajke, hranidbeni i toplinski režim tla, biološku aktivnost tla itd.

3.1.9. Stabilnost strukturalnih makro i mikroagregata

Način nakupljanja mehaničkih elemenata u strukturne agregate i njihov odnos s porama tla naziva se strukturom. Najbolja je mrvičasta do graškasta struktura jer osigurava najpovoljnije odnose vode i zraka u tlu. Da bismo dobili uvid u strukturu u laboratoriju određujemo stabilnost makroagregata (čestice tla nakupljene u grudice) njihovim raspadanjem u destiliranoj vodi. Prema brzini i načinu raspadanja određujemo njihovu stabilnost. Stabilnost mikroagregata određuje se iz postotnog udjela čestica gline u prepariranom tlu (čestice gline određene pomoću Na - pirofosfata) i neprepariranom tlu (čestice gline određene po Internacionalnoj B metodi).

3.1.9.1. Postupak određivanja stabilnosti makroagregata

Strukturalni se agregati stave u keramičku zdjelicu u kojoj se nalazi destilirana voda. Prema brzini raspadanja određuje se njihova stabilnost.

Interpretacija dobivenih podataka vrši se na osnovi sljedeće klasifikacije:

Vrijeme raspadanja na mehaničke elemente ili agregate nižeg reda	Ocjena stabilnosti
u toku 3 minute	potpuno nestabilni
za 30 minuta	nestabilni
djelomice za 6 sati ili potpuno za 12 sati	malo stabilni
slabo se raspadaju u vremenu od 12 do 16 sati	dosta stabilni
ne raspadaju se ni nakon 24 sata	potpuno stabilni

3.1.9.2. Postupak određivanja stabilnosti strukturnih mikroagregata

Stabilnost strukturnih mikroagregata određuje se prema sljedećoj jednadžbi:

$$S_s = \frac{F_p - F_{np}}{F_p} \times 100, \text{ pri čemu je :}$$

F_p - postotni udio čestica gline u prepariranom tlu (uzorak dezagregiran pomoću Na - pirofosfata)

F_{np} - postotni udio čestica gline u neprepariranom tlu (uzorak dezagregiran u destiliranoj vodi)

S_s - stupanj stabilnosti mikroagregata

Za interpretaciju stupnja stabilnosti mikroagregata koriste se sljedeće granične vrijednosti:

Ss	Mikroagregati
< 10	potpuno nestabilni
10 - 20	nestabilni
20 - 30	vrlo malo stabilni
30 - 50	malo stabilni
50 - 70	dosta stabilni
70 - 90	stabilni
> 90	vrlo stabilni

Tla mrvičaste do graškaste strukture (dimenzija 0,5 do 10 mm) osim što osiguravaju povoljne vodo-zračne odnose, imaju povoljniju plodnost, toplija su i biološki aktivnija. Loše gospodarenje tlima (nepravovremena obrada, gaženje strojevima, nepravilna gnojidba, ...) narušava strukturu. Na popravak strukture povoljno utječe pravodobna obrada, prema potrebi unošenje kalcija u tlo, zaoravanje zelene mase, ispravno gospodarenje humusom i dodavanje kondicionera (sintetski strukturoformatori). Travna vegetacija također povoljno utječe na strukturu, pa je u plodored dobro uključiti djetelinsko travne smjese.

3.1.10. Određivanje vertikalne propusnosti tla za vodu aparatom uz konstantni hidrostatski tlak i određivanje horizontalne vodopropusnosti

Za određivanje koeficijenta propusnosti tla za vodu koristi se aparat po Flamencu. Uzorak tla u cilindru volumena 100 ccm stavlja se u aparat, osigura se konstantni hidrostatski tlak (tlak mirne tekućine na jedinicu površine) i mjeri količina vertikalno procijeđene vode (ml) u jedinici vremena (s).

Za određivanje koeficijenta propusnosti tla za vodu koristi se Darcyjeva jednažba:

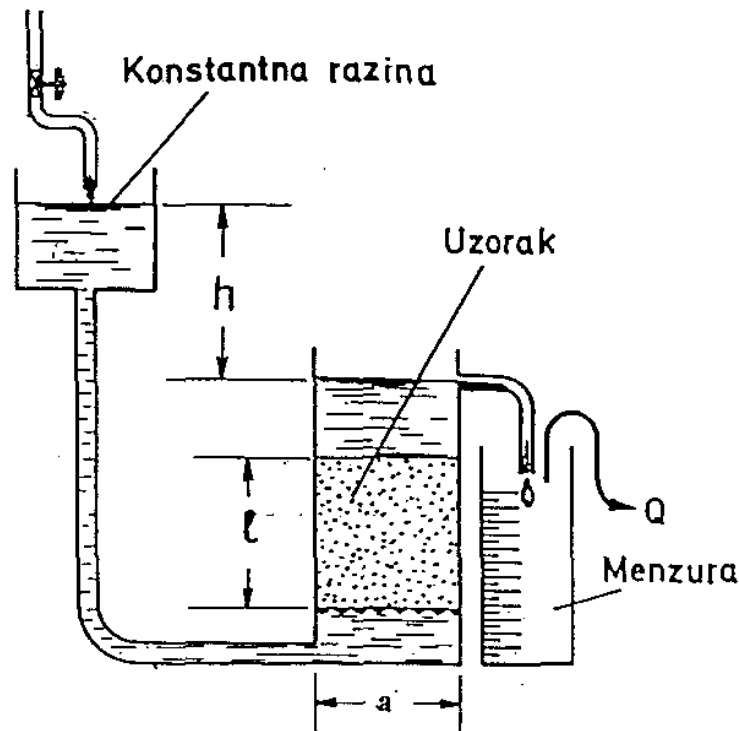
$$Q = k \cdot a \cdot t \cdot i$$

$$k = \frac{Q}{a \cdot t \cdot i} = \frac{Q}{a \cdot t \cdot h/l} = \frac{Q \cdot l}{a \cdot t \cdot h}, \text{ cm/s}, \quad i = \frac{h}{l}$$

pri čemu je :

- Q= količina vode protekla kroz uzorak, ml
- k = koeficijent propusnosti tla za vodu
- a = površina poprečnog presjeka tla, cm²
- t = vrijeme mjerenja, s
- i = hidrostatski pad
- h = visina od gornje do donje razine vode, cm
- l = visina uzorka tla, cm

Slika 3 prikazuje Darcyjev aparat za određivanje vertikalne propusnosti tla za vodu:



Slika 3: Aparat za određivanje vertikalne propusnosti tla za vodu

Vertikalna propusnost tla za vodu može se interpretirati na osnovi sljedećih graničnih vrijednosti:

Klasa propusnosti	Vertikalna propusnost tla za vodu (k)	
	10^{-5} cm/sek	m/dan
vrlo mala	< 3	< 0,026
mala	3 - 5	0,026 - 0,13
umjereno mala	15 - 60	0,13 - 0,52
umjerena	60 - 170	0,52 - 1,42
umjereno brza	170 - 350	1,42 - 3,0
brza	350 - 700	3,0 - 6,0
vrlo brza	> 700	> 6,0

Za melioracijske potrebe od velikog je značaja horizontalna vodopropusnost (K), koja se određuje Auger Holle metodom (metoda bušotine) na terenu.

Postupak :

Sondom se najprije izbuši tlo ispod razine podzemne vode, nakon 1 - 2 dana, kada se površina vode u bušotini poravna s okolnim vodonosnim slojem, izbaciti se dio vode iz bušotine i mjeri brzina pritjecanja vode u jedinici vremena (s).

Proračun horizontalne vodopropusnosti može se vršiti pomoću formula, ili se za tu svrhu koriste odgovarajući nomogrami. U slučaju kada nema podzemne vode određivanje horizontalne vodopropusnosti vrši se inverznom metodom. Kod ove metode voda se nalijeva u bušotinu i mjeri razina njenog snižavanja u određenim vremenskim intervalima. Ovako dobiveni koeficijenti horizontalne vodopropusnosti koriste se u jednadžbama za potrebe projektiranja sustava odvodnje.

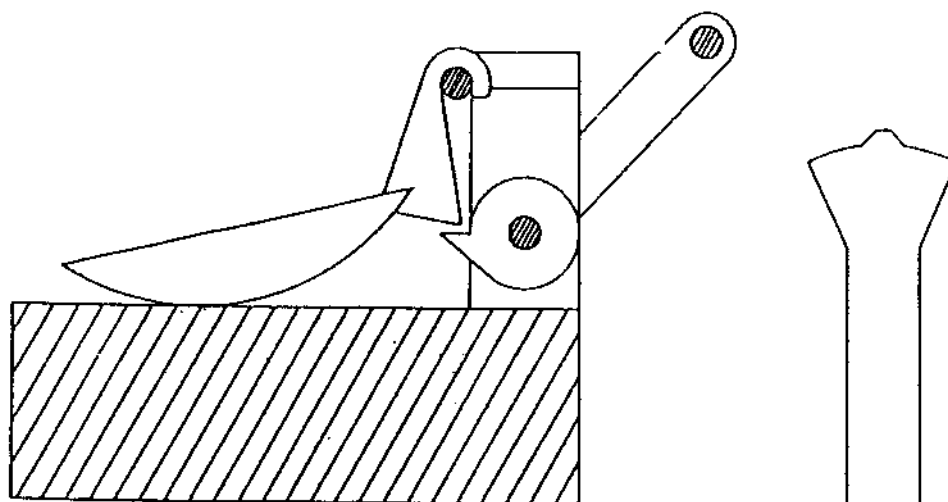
3.1.11. Određivanje plasticiteta tla

Plasticitet je po Baveru sastavni dio konzistencije tla i predstavlja sposobnost modeliranja tla kod određenog sadržaja vlage, a nakon sušenja tlo zadržava prvotno načinjeni oblik. Konzistenciju tla možemo definirati kao stanje sile adhezije i kohezije kod različitog sadržaja vlage. Kohezivne sile kod prosušenog tla drže čestice tla na okupu a povećanjem sadržaja vlage počinju prevladavati sile adhezije, tlo najprije prelazi u plastično stanje, a zatim se počinje lijepiti za ratila - ljepljivost.

U laboratorijskim uvjetima određuje se gornja granica i donja granica plastičnosti i iz njih indeks plastičnosti.

Donja granica plastičnosti određuje se valjanjem valjčića tla na filter papiru. Dovoljno prosušeno tlo stavlja se u prethodno odvajnuće sušilice, zatim se uzorak suši u termostatu do konstantne težine i u mas. % obračunava sadržaj vlage kod donje granice plastičnosti. Donja granica plastičnosti je srednja vrijednost od više određivanja.

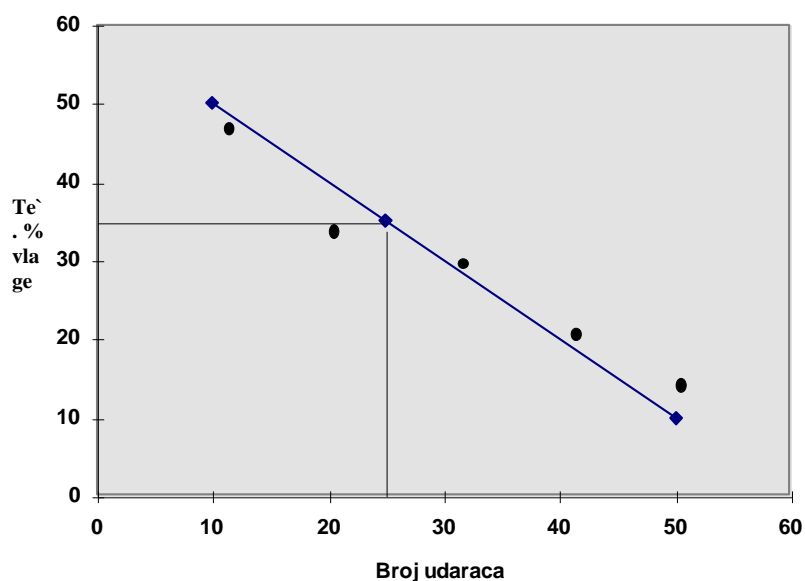
Gornja granica plastičnosti određuje se aparatom po Cassagrandeu, slika 4.



Slika 4: Aparat po Cassagrandeu

Postupak određivanja:

U mesinganu zdjelicu stavlja se pripremljeni uzorak tla navlažen do određenog stupnja. Ručica aparata okreće se brzinom od dva okretaja u sekundi tako dugo dok se brazda u uzorku tla načinjena izvlakačem ne spoji na sredini na 1cm. Postupak se ponavlja nekoliko puta i pri tome se broje udarci potrebni za spajanje brazde. Različitim broju udaraca pripada različit sadržaj vlage u tlu. Uzorci tla stavljaju se u odvagane sušilice, suše u termostatu do konstantne težine, a na kraju se vrši obračun sadržaja vlage u masenim postocima. Za određivanje gornje granice plastičnosti koristi se semilogaritamski papir tako da se na ordinatu nanose maseni postoci vlage, a na apscisu pripadni broj udaraca. Očitavanje sadržaja vlage vrši se kod 25 udaraca - gornja granica plastičnosti. Graf 4. prikazuje primjer određivanja gornje granice plastičnosti.



Graf 4. Gornja granica plastičnosti

$$\text{mas \% vlage} = \frac{\text{masa vlažnog tla} - \text{masa suhog tla}}{\text{masa suhog tla}} \times 100$$

Indeks plastičnosti (Ip) dobije se iz razlike gornje i donje granice:

$$I_p = \text{gornja granica plastičnosti} - \text{donja granica plastičnosti}$$

Granične vrijednosti za interpretaciju su sljedeće:

Oznaka za tlo	Indeks plastičnosti (Ip)	Tekstura
neplastično	praktično 0	pijesak (P)
slabo plastično	< 7	pjeskovita ilovača (PI)
plastično	7 - 17	ilovača (I)
vrlo plastično	> 17	glina (G)

Određivanje plastičnosti tla od velike je važnosti za ratarsku proizvodnju. Na osnovi podataka o donjoj granici plastičnosti procjenjuje se trenutak pogodan za obradu. Tlo sa sadržajem vlage kod donje granice plastičnosti najpovoljnije je za obradu. Tu je i najmanja opasnost od zbijanja. Kod gornje granice tlo prelazi iz plastičnog u tekuće stanje pa je opasnost od zbijanja i gaženja najveća. Obrada tla u takvim uvjetima izuzetno je nepovoljna i uvjetuje znatno kvarenje strukture.

Zbijenost tla može se procijeniti na osnovi gustoće pakiranja čestica (PD), a dobije se iz % - tnog udjela čestica gline i volumne gustoće.

$$PD = \rho_v + 0,009 \times \% \text{ gline, g/cm}^3$$

Vrijednosti gustoće pakiranja čestica moguće je interpretirati na sljedeći način:

< 1,40	slabo zbijeno tlo
1,40 - 1,75	srednje zbijeno tlo
> 1,75	jako zbijeno tlo

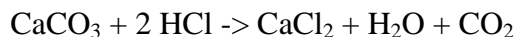
Na osnovi ovih graničnih vrijednosti može se procijeniti potreba za prorahljivanjem tla.

Zbijenost tla u terenskim uvjetima najčešće se mjeri penetrometarskim opažanjima.

3.2. KEMIJSKE ZNAČAJKE TLA

3.2.1. Određivanje zemnoalkalnih karbonata

Karbonatno tlo u reakciji s HCl oslobađa CO₂ koji šumi i pjenuša :



3.2.1.1. Kvalitativno određivanje zemnoalkalnih karbonata

Na satno stakalce stavlja se nekoliko grama karbonatnog tla i određuje je li tlo karbonatno ili nije. U reakciji karbonatnog tla i klorovodične kiseline oslobađa se ugljični dioksid koji proizvodi šum i pjenušanje.

3.2.1.2. Kvantitativno određivanje zemnoalkalnih karbonata

Kvantitativno određivanje zemnoalkalnih karbonata vrši se pomoću različitih izvedbi kalcimetara. Kod nas je najčešće u upotrebi Scheiblerov kalcimeter.

Postupak određivanja :

U posebnu bočicu vagne se cca 2 g karbonatnog tla, ono u reakciji s HCl-om oslobađa CO₂. Oslobođeni CO₂ potiskuje obojenu tekućinu u središnjoj cijevi na kojoj se vrši očitavanje u ccm. Na osnovi temperature i tlaka očitava se iz tablica koliko teži 1 ccm CO₂, računa se u postocima, u odnosu na odvagu, i množi s faktorom 2,274 kako bi se dobio ukupni sadržaj zemnoalkalnih karbonata.

Primjer : 2 g tla razvija - 6,5 cm³ CO₂, temperatura je 21°C, tlak 749 mmHg

Iz tablice : 1 cm³ CO₂ -> 1841 μg ili 1,841 mg

$$2 \text{ g razvija } 1,841 \text{ mg CO}_2 \times 6,5 = 11,97 \text{ mg}/1000 \\ = 0,01197 \text{ g CO}_2$$

$$\begin{array}{ll} \% \text{ udio,} & 2 \text{ g tla} \rightarrow 100 \% \\ & 0,01197 \text{ g CO}_2 \rightarrow X \% \end{array}$$

$$X = \frac{0,01197 \cdot 100}{2} = 0,60 \% \times 2,274 = \underline{1,36 \% \text{ CaCO}_3}$$

Osim ukupnog vapna određuje se i fiziološki aktivno vapno u tlu (bitno za vinogradarstvo i voćarstvo).

3.2.2. Određivanje aktivnog vapna u tlu

Postupak određivanja :

Od usitnjenog tla posušenog na 105°C u odmjernu tikvicu od 500 ml vagne se 2,5 g, doda se 250 ml 0,2 M amonoksalata i ostavi stajati neko vrijeme. Pripremljena suspenzija se profiltrira, prvih nekoliko milimetara filtrata se baci. Pipetom se otpipetira 20 ml filtrata u drugu tikvicu, doda se 100 ml destilirane vode i 5 ml koncentrirane sumporne kiseline. Tako pripremljen uzorak zagrije se na

plameniku i titrira 0,2 M kalijevim permanganatom do pojave trajno ružičastog obojenja.

Paralelno se radi slijepa proba (bez uzorka tla), otpipetira se 20 ml 0,2 M amonoksalata, doda 100 ml destilirane vode i 5 ml koncentrirane sumporne kiseline, zatim se uzorak zagrijava i titrira 0,2 M kalijevim permanganatom do pojave trajno ružičastog obojenja. Postotni udio aktivnog vapna u tlu dobije se iz sljedeće jednadžbe:

$$\% \text{ aktivnog CaCO}_3 = (N - n) \times 5, \text{ pri čemu su :}$$

N - mililitri utrošenog kalijevog permanganata na titraciju kod slijepa probe
n -mililitri utrošenog kalijevog permanganata na titraciju kod pripremljenog uzorka s tlom

3.2.3. Određivanje reakcije tla

Negativni logaritam koncentracije vodikovih iona zove se pH vrijednost. H^+ ili OH^- ioni nosioci su bazične ili kisele reakcije u nekom mediju. U 1 l prokuhane destilirane vode pri temperaturi $22^\circ C$, ima 10^{-7} grama H^+ iona i 10^{-7} gramekvivalenta OH^- iona. Ukoliko u mediju prevagne količina H^+ iona medij postaje kiseo, a ukoliko prevladavaju OH^- ioni medij je bazičan. Po Sorensonu negativni logaritam koncentracije H^+ iona je pH vrijednost, odnosno to je negativni eksponent baze 10 koncentracije H^+ iona. Znači kad je reakcija neutralna $CH = 10^{-7}$, $-\log 10^{-7} = pH 7$. Dakle, vrijednosti pH manje od 7 označavaju kiseli medij, a veće od 7 bazičnu reakciju.

U laboratorijskim uvjetima određuje se reakcija tla u destiliranoj vodi i u MKCl-u. Vrijednosti pH određene u MKCl-u nešto su niže jer se na taj način određuje i dio vodikovih iona iz adsorpcijskog kompleksa. Postoje elektrometrijske i kolorimetrijske metode određivanja.

Elektrometrijske metode baziraju se na principu mjerenja razlike potencijala između dvije elektrode pri čemu je jedna mjerna, a druga referentna. Registrirana vrijednost razlike potencijala (napon) u mV ili pH vrijednost direktno se očitava na display-u mjernog instrumenta - pH metra.

Kolorimetrijske metode temelje se na primjeni indikatora, koji se uranja u pripremljenu suspenziju tla i prokuhane destilirane vode i na osnovi boje koja se uspoređuje sa standard – skalom, time se određuje pH vrijednost tla.

Postupak određivanja pH vrijednosti elektrometrijskom metodom:

a) određivanje pH u H_2O

U Erlenmeyerovu tikvicu vagne se 20 g sitnice i prelije s 50 ml prokuhane destilirane vode. Pripremljena suspenzija tla i vode ostavlja se da odstoji, promućka i zatim prenosi u epruvetu. Elektroda se uranja u pripremljeni uzorak i na display-u instrumenta očitava se pH vrijednost.

b) određivanje pH u MKCl-u

U Erlenmeyerovu tikvicu vagne se 20 g sitnice i prelije s 50 ml MKCl-a. Uzorak se ostavlja da odstoji, promućka i prenosi u epruvetu. U pripremljenu suspenziju tla i MKCl-a uranjaju se elektrode i na display-u instrumenta očitava pH vrijednost. U pauzi mjerenja elektrode moraju stajati u destiliranoj vodi kao i prije početka mjerenja u trajanju najmanje od 24 sata. Nadalje, prije mjerenja, treba

pripremiti standardne puferne otopine određenog poznatog pH radi prilagodbe instrumenta i elektroda za mjerenje. Suvremeni pH metri imaju kombiniranu elektrodu.

pH vrijednost tla od velikog je značenja za sve procese u tlu. Utječe na aktivnost mikroorganizama, stvaranje humusa, oksidacijsko redukcijske procese u tlu, dinamiku pristupačnosti i mobilnost biljnih hraniva.

Opisane kolorimetrijske i elektrometrijske metode služe za određivanje aktivnog aciditeta (kiselosti) tla, odnosno onog dijela H^+ iona koji se nalazi u otopini tla.

Za interpretaciju očitanih vrijednosti koristimo se sljedećom skalom pH vrijednosti određenih u MKCl-u:

pH	Tla
< 4,5	jako kisela
4,5 - 5,5	kisela
5,5 - 6,5	slabo kisela
6,5 - 7,2	praktički neutralna
> 7,2	alkalična

Da bi se odredila potencijalna kiselost tla, odnosno vodikovi ioni koji se nalaze vezani na adsorpcijskom kompleksu tla, potrebno je odrediti tzv. hidrolitsku i supstitucijsku kiselost. U adsorpcijskom kompleksu mogući su Al i Fe ioni koji u kiselom mediju izlaskom u otopinu tla uvjetuju povećanje kiselosti. Supstitucijska kiselost je dakle dio potencijalnog aciditeta koji nastaje zamjenom slabije vezanih H^+ iona (Al + Fe) na adsorpcijskom kompleksu s kationima neutralnih soli (MKCl).

Hidrolitska kiselost predstavlja onaj dio H^+ iona koji su jače vezani u adsorpcijskom kompleksu tla pa je za njezino određivanje potrebno primjeniti neku od soli jakih baza i slabih kiselina kao npr. natrijev ili kalcijev acetat.

Na osnovi određene potencijalne kiselosti tla (hidrolitske i supstitucijske) određuje se količina vapna za kalcifikaciju, čime se postiže optimalan pH za uzgoj većine poljoprivrednih kultura.

3.2.4. Određivanje količine vapna za kalcifikaciju

3.2.4.1. Određivanje hidrolitske kiselosti (y_1) - modificirana metoda

Na osnovi hidrolitske kiselosti (y_1) vrši se neutralizacija kiselosti i postiže pH 7, što odgovara svim osjetljivim poljoprivrednim kulturama.

Postupak:

U Erlenmeyerovu tikvicu vagne se 40 g sitnice, prelije sa 100 ml Na-acetata. Pripremljena suspenzija promućka se i ostavi stajati neko vrijeme. Zatim se profiltrira u drugu tikvicu preko filtera papira. Od filtrata se uzme 50 ml, dodaju se 2 kapi indikatora (fenolftalein) i titrira 0,1M NaOH do pojave blago ružičastog obojenja.

$$y_1 = \text{ml NaOH} \times 0,1 \times 10 \times 2,5$$

$$y_1 \times 4,5 = \text{__ dt/ha CaCO}_3$$

$$y_1 \times 2,52 = \text{__ dt/ha CaO}$$

Na osnovi hidrolitske kiselosti Nejgebauer iznosi sljedeću klasifikaciju (cit. A. Škorić, 1991.):

y_1	-	< 4	nije potrebna kalcifikacija
y_1	-	4 - 8	kalcifikacija je fakultativna
y_1	-	> 8	kalcifikacija je nužna

3.2.4.2. Određivanje supstitucijske kiselosti (y_1) - modificirana metoda

Postupak:

U Erlenmeyerovu tikvicu vagne se 40 g tla, doda 100 ml MKCl-a, uzorak se promućka i ostavi stajati neko vrijeme. Pripremljena suspenzija tla i MKCl-a profiltrira se, od filtrata uzme 50 ml, doda 2 kapi indikatora (fenolftalein) i titrira 0,1 MNaOH do pojave blago ružičastog obojenja.

$$Y_1 = \text{ml NaOH} \times 0,1 \times 10 \times 2,5$$

$$y_1 \times 5,25 = \text{__ dt/ha CaCO}_3$$

$$y_1 \times 2,94 = \text{__ dt/ha CaO}$$

Na osnovi ovako određene supstitucijske kiselosti vrši se neutralizacija pH do vrijednosti 6 što odgovara manje osjetljivim poljoprivrednim kulturama.

Sve poljoprivredne kulture nisu jednako osjetljive na pH vrijednost tla. Tako su primjerice krumpir, žuta lupina, zob i raž prilično rezistentne na nisku reakciju tla dok su recimo šećerna repa, ječam i pšenica prilično osjetljive na niske vrijednosti pH. Kamilica primjerice podnosi visoku reakciju tla. Možemo ipak reći da većina poljoprivrednih kultura zahtijeva blago kiselu do praktički neutralnu reakciju, pa je kalcifikacija nužna mjera za dovođenje pH u optimalne vrijednosti. Provedenom kalcifikacijom poboljšava se pristupačnost hraniva biljkama. Povoljno utječe na strukturu tla, na vodu - zračne značajke, mikrobiološku aktivnost itd.

3.2.5. Određivanje kapaciteta i stanja zasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla

Gedroic razlikuje mehaničku, fizikalnu, fizikalno kemijsku, kemijsku i biološku sorpciju. Ponajvažnija je fizikalno - kemijska sorpcija koja se odnosi na koloide tla koji imaju sposobnost da na svojoj površini vežu ione u takvom stanju da se mogu izmjenjivati s ionima iz otopine tla u ekvivalentnim količinama - adsorpcija.

Skup organskih i mineralnih koloida tla koji imaju takvu izmjenjivačku sposobnost zove se adsorpcijski kompleks tla. Također je značajna kemijska sorpcija tla, a podrazumijeva sposobnost tla da stvara nove kemijske spojeve, npr. stvaranje teško topivih aluminijskih i željeznih fosfata u tlu, kod niskih pH vrijednosti ili teško topivih kalcijevih fosfata u alkalnim tlima.

Radi boljeg uvida u stanje adsorpcijskog kompleksa u tlu u laboratoriju određujemo:

- sumu baza sposobnih za zamjenu (S)
- nezasićenost adsorpcijskog kompleksa (T - S)
- maksimalni adsorpcijski kompleks (T)
- stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama (V%)

1) Određivanje sume baza sposobnih za zamjenu (S) - modificirana metoda
 U Erlenmeyerovu tikvicu vagne se 20 g sitnice, doda 100 ml 0,1M HCl-a, promućka i ostavi stajati neko vrijeme. Pripremljena suspenzija tla i 0,1M HCl-a profiltrira se preko filter papira, od filtrata uzme 50 ml i titrira 0,1 M NaOH do pojave blago ružičastog obojenja.

$$S = 10 \times (50 \text{ ml HCl} \times M - b \text{ ml NaOH} \times M), \text{ m.e.}$$

2) Određivanje nezasićenosti adsorpcijskog kompleksa (T - S)
 (T - S) odnosno H^+ u adsorpcijskom kompleksu koji može biti zamijenjen nekom od baza dobiva se iz sljedeće jednačbe:

$$(T - S) = \frac{y_1 \times 6,5}{10}, \text{ m.e.}, \quad y_1 = \text{hidrolitska kiselost tla}$$

3) Maksimalni adsorpcijski kompleks (T)
 (T) je jednak zbroju sume baza sposobnih za zamjenu (S) i nezasićenosti adsorpcijskog kompleksa (T - S) i izražava se također u m.e.

$$T = (T - S) + S, \text{ m.e.}$$

4) Na temelju poznatih vrijednosti (T) i (S) može se odrediti stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama (V%)

$$V = \frac{S}{T} \times 100, (\%)$$

Ukoliko se određuju kationi pojedinačno, nekom drugom metodom, dobivene vrijednosti izražavaju se u $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$.

Iz adsorpcijskog kompleksa tla biljke koriste hraniva, pa je on na neki način "skladište hrane za biljke". Ako je zasićenost bazama veća, one su slabije vezane i biljkama lakše pristupačne. Ako se pak smanji količina kationa u adsorpcijskom kompleksu, smanji se i njihova pristupačnost biljkama. Jačina vezanja pojedinih kationa ovisi i o njihovoj valenciji. Viševalentni kationi jače se vežu uz adsorpcijski kompleks u odnosu na niževalentne, pri čemu je izuzetak vodik.

Vidljivo je značenje analize adsorpcijskog kompleksa tla budući da ima veliki utjecaj na plodnost tla, puferizacijsku sposobnost tla, pristupačnost hraniva biljkama, njihovu koncentraciju itd.

3.2.6. Određivanje karaktera humusa

Humus je specifična tamna organska tvar nastala u procesima humifikacije, tj. prvotne razgradnje organske tvari mikrobiološkim putem do jednostavnih spojeva i njihove ponovne sinteze (kondenzacije, polimerizacije), do novih visokomolekularnih organskih spojeva.

Vrlo je značajna uloga humusa u tlu:

- javlja se kao čimbenik trošenja anorganskog dijela tla
- energetski je izvor za čitav niz organizama
- izvor je biljnih hraniva, ona se oslobađaju pod djelovanjem mikroorganizama
- ima visoki kapacitet adsorpcije kationa
- dobro upija vodu, te na taj način regulira vodo-zračne i toplinske značajke
- tvori stabilnu strukturu
- utvrđen je povoljan utjecaj na rast i razvoj poljoprivrednih kultura

Po svom kemijskom karakteru humus može biti kiseo ako sadrži slobodne humusne kiseline ili blag ako je u obliku humata (soli humusnih kiselina).

Postupak:

U epruvetu se stavlja 2 - 3 g sitnice i prelijeva s dvostrukom do trostrukom količinom 2 %-tnog NH_4OH . Uzorak se nakon mućkanja ostavlja neko vrijeme i prema boji se određuje njegov karakter. Ako u humusu ima slobodnih humusnih kiselina doći će do peptizacije s OH^- ionima i uzorak će biti smeđe obojen.

Ako je:

- uzorak bezbojan - humus je blag
- uzorak žućkast - humus je slabo kiseo
- uzorak smeđe boje - humus je kiseo

3.2.7. Određivanje količine humusa po Tjurinu

U erlenmajerovu tikvicu od 100 ml vagne se 0,2 - 0,5 g sitnice, prelije s 0,4 M kalijevim bikromatom ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), na vrhu žličice doda srebrnog sulfata (Ag_2SO_4) i prekrije malim lijevkom. Ovako pripremljen uzorak prokuha se 5 minuta na električnoj ploči. Uzorak se zatim prenosi kvantitativno (uz pomoć destilirane vode) u veću erlenmajerovu tikvicu i nadopuni destiliranom vodom do 150 ml. Nakon toga se dodaje 2 ml smjese sumporne i fosforne kiseline i 8 kapi indikatora (difenilaminsulfonska kiselina) i titrira Mohrovom soli do pojave zelene boje. Paralelno se provodi slijepa proba, pri čemu je postupak potpuno isti, a koristi se umjesto uzorka tla kvarcni pijesak.

Postotni udio humusa računa se iz sljedeće jednadžbe:

$$\% \text{ humusa} = \frac{(a - b) \times 0,0005172 \times 100}{n}, \text{ pri čemu su:}$$

- a - ml utrošene Mohrove soli na titraciju kod slijepa probe
- b - ml utrošene Mohrove soli na titraciju s uzorkom tla
- n - odvaga tla u gramima

Granične vrijednosti za interpretaciju količine humusa po Gračaninu su sljedeće:

Tla	% humusa
vrlo slabo humozna	< 1
slabo humozna	1 - 3
dosta humozna	3 - 5
jako humozna	5 - 10
vrlo jako humozna	> 10

Intenzivnom agrotehnikom količina humusa u našim tlima sve više se smanjuje, pa je osnovni zadatak agronoma tehnologa da poduzme odgovarajuće mjere u smislu njegovog povećanja (izborom odgovarajućeg plodoređa, zaoravanjem žetvenih ostataka i svježe organske tvari, unošenjem kalcija u tlo, reduciranjem obrade i slično).

U sklopu pedoloških ili/i hidropedoloških istraživanja često se provode i druge laboratorijske metode određivanja (primjerice dušika, fosfora, kalija i drugih makro i mikro hraniva) s čime će se studenti upoznati u Gnojidbi poljoprivrednih kultura.

4. ODABRANO POGLAVLJE IZ GEODEZIJE

4.1. RAČUN POVRŠINA

ZADATAK: Na priloženom planu objekta "Berek" u mjerilu $M=1:10\ 000$ prikazano je 16 tabli. Potrebno je:

1. Odrediti apsolutni pad terena (ΔH)
2. Odrediti relativni pad terena (I)
3. Izračunati ukupnu površinu objekta (P_{uk})
4. Nacrtati presjek (profil) terena AB u mjerilu $M=1:10\ 000/50$

Izrada vježbe:

1. Apsolutni pad terena (visinska razlika u m)

$$\Delta H = H_A - H_B = 120\text{ m} - 118\text{ m} = 2\text{ m}$$

2. Relativni pad terena

$$I = \frac{\Delta H}{D} \quad \text{pri čemu je:}$$

ΔH = visinska razlika u m,
 D = udaljenost između točaka A i B u m.

$$D = d \times p \quad \text{gdje je:}$$

d = dužina između točaka A i B u cm,
 p = podatak mjerila u m/cm, kod mjerila $M=1:10\ 000$

1 cm na planu \Rightarrow 10 000 cm ili
1 cm na planu \Rightarrow 100 m u prirodi $\Rightarrow p = 100\text{ m/cm}$

$$D = d \times p = 23,7\text{ cm} \times 100\text{ m/cm} = 2370\text{ m}$$

$$I (\text{m/m; \% ; \%}_0) = ? \quad I = \Delta H / D = 2\text{ m} / 2370\text{ m} = 0,000844\text{ m/m}$$

1% = 1 m visinske razlike na 100m dužine

$$0,000844\text{ m/m} \times 100 = 0,0844\%$$

1‰ = 1 m visinske razlike na 1000 m dužine

$$0,000844\text{ m/m} \times 1000 = 0,844\text{ ‰}$$

3. Račun površina

Površinu nekog objekta moguće je izračunati:

- iz direktno na terenu izmjerenih podataka,
- iz plana,
- kombiniranom metodom (korištenjem podataka određenih na terenu i onih s plana)

Određivanje površina na planu vrši se:

- računskim putem ili
- mehaničkim putem (planimetriranjem)

Neki objekt na planu može biti prikazan kao pravilni ili nepravilni geometrijski lik. Za određivanje površina računskim putem koristimo formule za izračunavanje površina jednostavnih geometrijskih likova (trokut, paralelogram, trapez, četverokut). Ukoliko je neki objekt predložen složenim geometrijskim likom (mnogokutnikom) "razbijamo" ga na jednostavnije geometrijske likove. Ukupna površina objekta jednaka je zbroju površina svih likova.

Površina trokuta:

$$P = \frac{a \cdot v}{2}$$

Površina paralelograma:

$$P = a \cdot v$$

Površina trapeza:

$$P = \frac{a + b}{2} \cdot v$$

Površina četverokuta:

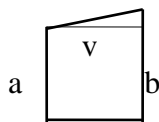
$$P = \frac{v_1 + v_2}{2} \cdot d$$

Površina mnogokutnika:

$$P = \text{suma površina trokuta}$$

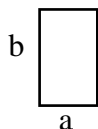
Ukupna površina objekta jednaka je zbroju površina šest likova na koje smo podijelili objekt:

P-1 Trapez



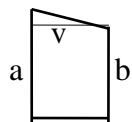
$$P_1 = \frac{a + b}{2} \cdot v = \frac{710 + 800}{2} \cdot 780 = 588900 \text{ m}^2$$

P-2 Pravokutnik



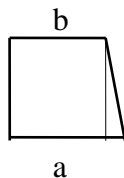
$$P_2 = ab = 250 \cdot 800 = 200000 \text{ m}^2$$

P-3 Trapez



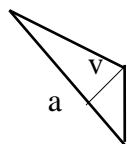
$$P_3 = \frac{a+b}{2} v = \frac{800+770}{2} \cdot 250 = 196250 \text{ m}^2$$

P-4 Trapez



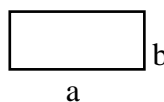
$$P_4 = \frac{a+b}{2} v = \frac{900+740}{2} \cdot 770 = 631400 \text{ m}^2$$

P-5 Trokut



$$P_5 = \frac{av}{2} = \frac{790 \cdot 120}{2} = 47400 \text{ m}^2$$

P-6 Pravokutnik



$$P_6 = ab = 2200 \cdot 720 = 1584000 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{uk}} (\text{m}^2; \text{ha}) = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 3247950 \text{ m}^2 = 324,95 \text{ ha}$$

5. ODVODNJA

5.1. Odvodnja sustavom otvorenih kanala

ZADATAK: Melioracijsko područje objekta "Berek" prikazano je u priloženom nacrtu u mjerilu $M=1:5000$. Navedeno područje ugroženo je od suvišnih površinskih voda koje ograničavaju intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju. Na temelju provedenih terenskih hidropedoloških istraživanja dobiveni su sljedeći podaci:

1. Razina podzemne vode nalazi se na dubini 2,7 m od površine tla.
2. Ukupna godišnja količina oborina (H) iznosi 856 mm.
3. Maksimalni intenzitet ljetnih oborina (A) iznosi 15 mm/sat.
4. Koeficijent hrapavosti terena (γ) je 12
5. Koeficijent površinskog otjecanja (K_o) je 0,60.
6. Dozvoljeno vrijeme plavljenja melioracijskog područja (T) iznosi 12 sati

Na temelju navedenih podataka treba meliorirati navedeno područje, odnosno odvesti suvišnu površinsku vodu.

Prilikom izrade vježbe potrebno je:

1. odrediti razmak (D) između kanala IV reda prema formuli Kostjakova,
2. ucrtati mrežu detaljnih i sabirnih kanala na situaciju mjerila $M=1:5000$,
3. dimenzionirati sabirni kanal SK-1 u točki "M", te nacrtati njegov poprečni profil u mjerilu $M = 1 : 50$
4. izraditi dokaznicu mjera,
5. izraditi troškovnik.

Temeljni je preduvjet dobre odvodnje:

1. da je melioracijsko područje zaštićeno od stranih voda,
2. da je osigurana odgovarajuća oplav,
3. da sustav odvodnje najbolje odgovara njegovoj svrsi, a to zavisi od :
 - a) vodnog režima na melioracijskom području,
 - b) reljefskih i fizikalnih značajki tla,
 - c) položaja glavnog recipijenta.

Na melioracijskom području "Berek" problem predstavljaju suvišne površinske (oborinske) vode, što se može riješiti odvodnjom sustavom otvorenih kanala. Sakupljanje i odvođenje suvišnih površinskih voda s proizvodnih površina je nužno, jer preplavlivanje tla u bilo kojoj fazi razvoja biljke, nepovoljno utječe na prinos. Osim toga, suvišne vode otežavaju pravovremeno izvođenje agrotehničkih zahvata, od osnovne obrade do berbe.

Mreža otvorenih kanala sastoji se od:

- a) glavnih kanala - kanala I reda (GOK), oni se nalaze na najnižim kotama terena i skupljaju vodu s melioracijskog područja, a dužina im je i do nekoliko km;
- b) dopunskih kanala - kanala II reda (SOK), dužine 1-3 km, a razmak između njih je 500 - 800 m;
- c) detaljnih kanala (kanala sisavaca) - kanala III i IV reda (DOK), postavljaju se paralelno, dužine 500 - 800 m, a nalaze se na razmaku od 100 do 300 m

1. Razmak između detaljnih kanala IV reda prema formuli Kostjakova

$$D = \frac{78 K_o A T^2 \sqrt{I}}{\gamma} \quad \text{gdje je:}$$

- D - razmak detaljnih kanala u m
K_o - koeficijent površinskog otjecanja (0,6)
A - maksimalni intenzitet ljetnih oborina u mm/sat (15mm/h)
T - dozvoljeno vrijeme plavljenja u satima (12 h)
γ - koeficijent hrapavosti terena (12)
I - relativni pad terena m/m - treba odrediti:

$$I = \frac{\Delta H}{D} \quad \text{pri čemu je:}$$

ΔH - apsolutni pad terena (visinska razlika u m između najviše i najniže kote terena)

$$\Delta H = 118,90 - 117,90 = 1,00 \text{ m}$$

D - udaljenost u m između najviše i najniže kote na terenu

$$D = d \cdot p \quad \text{pri čemu je:}$$

d - udaljenost u cm između točaka na planu,
p - podatak mjerila u m/cm (kod mjerila M=1:5000, 1 cm na planu=50 m u prirodi)

$$D = 28,3 \cdot 50 \text{ m/cm} = 1415 \text{ m}$$

$$I = \frac{1,00}{1415} = 0,000707 \text{ m/m} = 70,7 \text{ cm/km}$$

$$D = \frac{78 \cdot 0,6 \cdot 15 \cdot 12 \cdot \sqrt{0,00070}}{12} = 223,98 \text{ m} = 224 \text{ m}$$

2. Mreža detaljnih i sabirnih kanala na situaciji mjerila M=1:5000

Razmak detaljnih kanala je 224 m, a njihova dužina 700m → ucrtati u plan

3. Dimenzioniranje sabirnog odvodnog kanala u točki "M"

Izračunavanje protoke, odnosno maksimalne količine vode koja se može očekivati u određenoj točki slijeva (Q_m), vrši se na temelju površine melioracijskog područja u km^2 (F) i specifičnog dotoka u l/s/km^2 (q).

$$Q_m = Fq, \text{ m}^3/\text{s}$$

$$F_{\square} = a \cdot b = 1350 \cdot 700 = 945000 \text{ m}^2 \\ = 0,945 \text{ km}^2$$

Specifični dotok po Belli:

- za površine slijeva veće od 15 km^2 (za manje površine potrebno ga je korigirati)

$$q = L \cdot H(20+2I+1000/F), \text{ l/s/km}^2 \quad \text{gdje je:}$$

q - specifični dotok u l/s/km^2

L - koeficijent propusnosti tla (0,6)

H - godišnja količina oborina u m ($850 \text{ mm} = 0,856 \text{ m}$)

I - relativni pad terena u cm/km

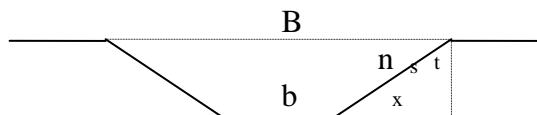
F - površina melioracijskog područja u km^2

$$q = 0,6 \cdot 0,856 (20+2 \cdot 70,7+1000/0,945) = 0,5136 \cdot 1219,601 = 626,4 \text{ l/s/km}^2$$

$$q_{\text{kor.}} = q+0,05q(15 - F) = 626,4+0,05 \cdot 626,4(15 - 0,945) = 1066,6 \text{ l/s/km}^2$$

$$Q_m = F q_{\text{kor.}} = 0,945 \cdot 1066,6 = 1007,9 = 1008 \text{ l/s} : 1000 = 1,008 \text{ m}^3/\text{s}$$

⇒ Dimenzionirati kanal najpovoljnijeg hidrauličkog oblika tj. **trapezni kanal**
(**$B = 2s$**)



Metoda pokušaja:

I pokušaj:

$$Q_m = 1008 \text{ m}^3/\text{s}$$

I - pad sabirnog kanala = $\Delta H/D$

$$(118,50 - 117,90)/1235 = 0,0004858$$

Koeficijent hrapavosti površine kanala $\gamma = 1,3$

Pokos kanala $n = 1,5$

Dubina kanala (Visina vode u kanalu) **$t = 0,90 \text{ m}$**

$$B = 2 \cdot s$$

$$s = \sqrt{(x^2+t^2)}$$

$$1 : n = t : x$$

$$= 2 \cdot 1,62 = \mathbf{3,24 \text{ m}}$$

$$s = \sqrt{(1,35^2+0,9^2)} = 1,62 \text{ m}$$

$$1 : 1,5 = 0,9 : x \Rightarrow x = 1,35 \text{ m}$$

$$B = b + 2x \quad \Rightarrow \quad \mathbf{b = B - 2x = 3,24 - 2 \cdot 1,35 = 0,54 \text{ m}}$$

Protok vode u kanalu:

$$Q = Fv \quad \text{gdje je:}$$

F - površina poprečnog presjeka kanala u m^2

v - brzina vode u kanalu m/s

$$F = \frac{B+b}{2} \cdot t = \frac{3,24+0,54}{2} \cdot 0,9 = 1,70 \text{ m}^2$$

$$v = c \cdot \sqrt{(R \cdot I)} \quad \text{gdje je:}$$

c - koeficijent brzine vode

R - hidraulički radijus u m

I - relativni pad kanala u m/m

c \Rightarrow dobijemo iz formule po Basinu:

$$c = \frac{87}{1+\gamma/\sqrt{R}} \quad \text{gdje je:}$$

γ - koeficijent hrapavosti površine kanala

R - hidraulički radijus u m

$$\Rightarrow R = F/O \quad \text{gdje je:}$$

O - omočeni obod kanala

$$O = 2s+b = 2 \cdot 1,62+0,54 = 3,78 \text{ m}$$

F - površina poprečnog presjeka kanala

$$R = \frac{1,70}{3,78} = 0,45 \text{ m}$$

$$c = \frac{87}{1+1,3/\sqrt{0,45}} = \frac{87}{2,94} = 29,59$$

$$v = 29,59 \sqrt{(0,45 \cdot 0,0004858)} = 0,437 \text{ m/s}$$

$$Q = F \cdot v = 1,70 \cdot 0,437 = \mathbf{0,743 \text{ m}^3/\text{s}} < Q_m$$

II pokušaj

$$Q_m = 1008 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$I - \text{pad sabirnog kanala} = 0,0004858 \text{ m/m}$$

$$\text{Koeficijent hrapavosti površine kanala } \gamma = 1,3$$

$$\text{Pokos kanala } n = 1,5$$

$$\text{Dubina kanala } t = \mathbf{1,0 \text{ m}}$$

$$\begin{aligned} B &= 2 \cdot s & s &= \sqrt{(x^2 + t^2)} & 1 : n &= t : x \\ &= 2 \cdot 1,80 = \mathbf{3,60 \text{ m}} & s &= \sqrt{(1,5^2 + 1,0^2)} = 1,80 \text{ m} & 1 : 1,5 &= 1,0 : x \Rightarrow x = 1,5 \\ & & & & & \text{m} \end{aligned}$$

$$b = B - 2x = 3,60 - 2 \cdot 1,5 = \mathbf{0,60 \text{ m}}$$

Protok vode u kanalu:

$$Q = Fv$$

$$F = \frac{B+b}{2} \cdot t = \frac{3,60+0,60}{2} \cdot 1,0 = 2,10 \text{ m}^2$$

$$v = c \cdot \sqrt{(R \cdot I)}$$

$c \Rightarrow$ dobijemo iz formule po Basinu:

$$c = \frac{87}{1 + \gamma / \sqrt{R}}$$

$$\Rightarrow R = F/O$$

$$O = 2s + b = 2 \cdot 1,80 + 0,60 = 4,20 \text{ m}$$

$$R = 2,10 / 4,20 = 0,5 \text{ m}$$

$$c = \frac{87}{1 + 1,3 / \sqrt{0,5}} = \frac{87}{2,84} = 30,63$$

$$v = 30,63 \cdot \sqrt{(0,5 \cdot 0,0004858)} = 0,477 \text{ m/s}$$

$$Q = F \cdot v = 2,10 \cdot 0,477 = \mathbf{1,002 \text{ m}^3/\text{s}} \approx Q_m$$

III pokušaj

$$Q_m = 1008 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$I - \text{pad sabirnog kanala} = 0,0004858 \text{ m/m}$$

$$\text{Koeficijent hrapavosti površine kanala } \gamma = 1,3$$

$$\text{Pokos kanala } n = 1,5$$

$$\text{Dubina kanala } t = \mathbf{1,01 \text{ m}}$$

$$\begin{aligned} B &= 2 \cdot s & s &= \sqrt{(x^2 + t^2)} & 1 : n &= t : x \\ &= 2 \cdot 1,82 = \mathbf{3,64 \text{ m}} & s &= \sqrt{(1,52^2 + 1,01^2)} = 1,82 & 1 : 1,5 &= 1,01 : x \Rightarrow x = 1,52 \text{ m} \end{aligned}$$

$$b = B - 2x = 3,64 - 2 \cdot 1,52 = \mathbf{0,60 \text{ m}}$$

Protok vode u kanalu:

$$Q = Fv$$

$$F = \frac{B+b}{2} \cdot t = \frac{3,64 + 0,60}{2} \cdot 1,01 = 2,14 \text{ m}^2$$

$$v = c \cdot \sqrt{(R \cdot I)}$$

$c \Rightarrow$ dobijemo iz formule po Basinu:

$$c = \frac{87}{1 + \gamma / \sqrt{R}}$$

$$\Rightarrow R = F/O$$

$$O = 2s + b = 2 \cdot 1,82 + 0,60 = 4,24 \text{ m}$$

$$R = 2,14 / 4,24 = 0,5 \text{ m}$$

$$c = \frac{87}{1 + 1,3 / \sqrt{0,5}} = \frac{87}{2,84} = 30,63$$

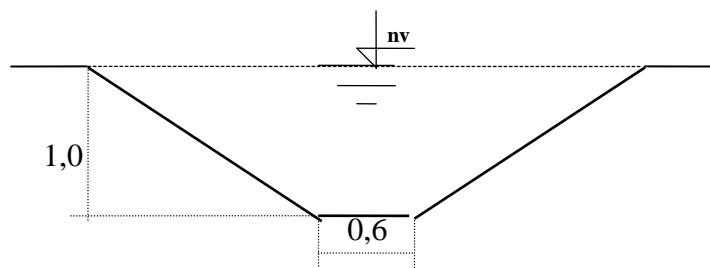
$$v = 30,63 \cdot \sqrt{(0,5 \cdot 0,0004858)} = 0,477 \text{ m/s}$$

$$Q = F \cdot v = 2,14 \cdot 0,477 = \mathbf{1,021 \text{ m}^3/\text{s}} > Q_m$$

dimenzije kanala: $b = 0,6 \text{ m}$
 $n = 1,5$ \Rightarrow nacrtati poprečni profil
 $t = 2,3 \text{ m}$

POPREČNI PRESJEK SABIRNOG ODVODNOG KANALA U
TOČKI "M"

M 1 : 50



4. Dokaznica mjera

Količina iskopa za sabirni kanal = dužina kanala x površina poprečnog presjeka kanala.

Dužina sabirnog kanala iznosi 1350 m.
Površina poprečnog presjeka kanala 2,1 m²

$$\text{Količina iskopa} = 1350 \cdot 2,1 = 2835 \text{ m}^3$$

5. Troškovnik za iskop sabirnog kanala

1. Iskolčenje kanala

1350 m	0,29 (EUR/m)	391,50 EUR
--------	--------------	------------

2. Strojni iskop kanala bagerom

2835 m ³	(2,90 EUR/m ³)	8221,50 EUR
---------------------	----------------------------	-------------

3. Strojno planiranje iskopanog materijala

2835 m ³	1,70 (EUR/m ³)	4829,50 EUR
---------------------	----------------------------	-------------

Ukupno: 13432,50 EUR

1. Troškovi po 1 ha = 13432,50 EUR/94,5 ha = 142,14 EUR

5.2. Odvodnja suvišnih voda sustavom cijevne drenaže

ZADATAK: Na području objekta "Berek", čija je situacija prikazana u mjerilu $M = 1:2500$, treba projektirati najpovoljniji sustav detaljne odvodnje.

Na temelju provedenih hidropedoloških istraživanja dobiveni su sljedeći podaci potrebni za projektiranje:

1. Ukupna godišnja količina oborina od 856 mm
2. Tip tla EUGLEJ - podtip **hipoglej** karakteristične građe profila A - Gso - Gr s koeficijentom vodopropusnosti tla (k_1) u horizontima A i Gso od 0,25 m/dan, te koeficijentom vodopropusnosti tla (k_2) u horizontu Gr od 0,96 m/dan. Ovaj podtip tla prisutan je u gornjem dijelu table u dužini od 225 m. Visoka razina podzemne vode glavni je uzrok nestabilne biljne proizvodnje na ovom tlu.
3. Tip tla **pseudoglej** karakteristične građe profila A - Eg - Btg - Cg, prisutan je na donjem dijelu table u dužini od 225 m. Ovaj tip tla karakterizira prekomjerno vlaženje stagnirajućom površinskom vodom.
4. Navedena tla će se koristiti za uzgoj ratarskih kultura pa je potrebno osigurati:
 - a) na hipoglejnom tlu - normu odvodnje (f) od 0,50 m, uz najveće dizanje podzemne vode između dva drena (m) od 0,50 m. Pri takvoj dubini drenaže udaljenost od cijevne drenaže do nepropusnog sloja (D) iznosi 3,25 m,
 - b) na pseudoglejnom tlu - prosječnu dubinu cijevne drenaže od 0,90 m.
5. Specifični drenažni istek (q) od 0,012 m/dan.

Potrebno je odrediti sljedeće:

1. Dubinu cijevne drenaže (t)
2. Razmak cijevne drenaže (L)
3. Ucrtati mrežu cijevne drenaže na situaciju mjerila $M = 1 : 2500$
4. Dimenzionirati drensku cijev u točki "M"
5. Načiniti troškovnik

1. Određivanje dubine drenaže ovisi o:

- uzgajanom usjevu,
- tipskoj građi tla,
- položaju vodoprijemnika (recipijenta),
- normi odvodnje (f),
- dodatnim mjerama (vertikalno dubinsko rahljenje, podrivanje ili krtičenje).

Na hipoglejnom tlu:

dubina cijevne drenaže (t) = norma odvodnje (f) + najveće dizanje podzemne vode između dva drena (m)

$$t = f + m = 0,50 + 0,50 = 1,00 \text{ m}$$

Prosječna dubina polaganja cijevne drenaže na pseudoglejnom tlu iznosi 0,9 m.

2. Određivanje razmaka cijevne drenaže ovisi o:

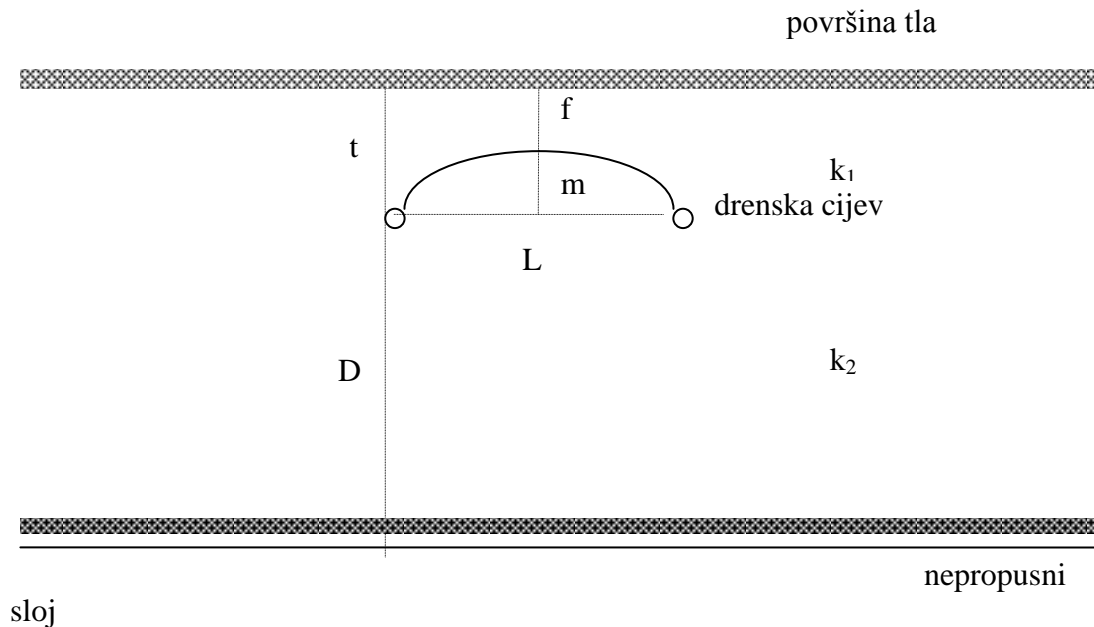
dubini cijevne drenaže (t),
normi odvodnje (f),
specifičnom drenažnom isteku (q),
koeficijentima vodopropusnosti tla (k_1 i k_2).

- a) Razmak cijevne drenaže za podtip tla hipoglej odrediti prema Hooghoudt-ovoj formuli:

$$L = \sqrt{\frac{8k_2 dm}{q} + \frac{4k_1 m^2}{q}} \quad \text{pri čemu je:}$$

L - razmak cijevne drenaže u m
 k_1 - koeficijent vodopropusnosti tla iznad cijevne drenaže, u m/dan
 k_2 - koeficijent vodopropusnosti tla ispod cijevne drenaže, u m/dan
 q - specifični drenažni istek, u m/dan
 d - ekvivalentna dubina, u m
 m - najveće dizanje podzemne vode između dva drena, u m

Skica za proračun razmaka drenažnih cijevi pomoću formule Hooghoudta:



$$k_1 = 0,25 \text{ m/dan}$$

$$k_2 = 0,96 \text{ m/dan}$$

$$q = 0,012 \text{ m/dan}$$

$$m = 0,50 \text{ m}$$

Ekvivalentna dubina (d), u m, dobije se iz tablica na osnovi udaljenosti od cijevne drenaže do nepropusnog sloja (D) i pretpostavljenog razmaka drenskih cijevi.

$$D = 3,25 \text{ m}$$

$$1) L = 30 \text{ m}$$

$$d = 2,05 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{\frac{8k_2dm}{q} + \frac{4k_1m^2}{q}} \Rightarrow L^2 = \frac{8k_2dm}{q} + \frac{4k_1m^2}{q}$$

$$30^2 = \frac{8 \cdot 0,96 \cdot 2,05 \cdot 0,50}{0,012} + \frac{4 \cdot 0,25 \cdot 0,50^2}{0,012}$$

$$30^2 = 656,00 + 20,83$$

$$900 \neq 676,83$$

$$2) L = 25 \text{ m}$$

$$d = 1,90 \text{ m}$$

$$25^2 = \frac{8 \cdot 0,96 \cdot 1,90 \cdot 0,50}{0,012} + \frac{4 \cdot 0,25 \cdot 0,50^2}{0,012}$$

$$25^2 = 608,00 + 20,83$$

$$625 \approx 628,83 \quad \Rightarrow L = 25m$$

b) Razmak cijevne drenaže za tip tla pseudoglej odrediti prema padu terena (prema normativima DIN - a 1185):

Pad terena u % (I)	Razmak drenskih cijevi u m
do 0,2	30
0,2 - 0,5	35
0,5 - 1,0	40

$$I = \frac{\Delta H}{D} = \frac{118,55 - 118,10}{(24,8 \cdot 25)} = \frac{0,45}{620} = 0,000726 \text{ m/m} \cdot 100 = 0,0726\%$$

Budući da je pad terena manji od 0,2 % za **razmak cijevne drenaže** uzeti vrijednost:

$$L = 30 \text{ m}$$

3. Crtanje mreže cijevne drenaže na situaciji mjerila $M = 1 : 2500$

Ostaviti 10 m između početka drenskih cijevi kao prostor za okretanje stroja!

4. Dimenzioniranje rebrastih perforiranih drenskih cijevi u točki "M".

Najveća količina vode (Q_{\max}) koja protječe točkom "M" iznosi:

$$Q_{\max} = P_A \times q \quad \text{gdje je:}$$

P_A - površina s koje voda pritječe u drensku cijev, u ha

$$P_A = 107,5 \times 25 = 2687,5 \text{ m}^2 = 0,27 \text{ ha}$$

q - specifični drenažni istek, u l/s/ha

$$q = 0,012 \text{ m/dan} = 12 \text{ mm/dan}$$

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ l/m}^2 \quad \Rightarrow \quad q = 12 \text{ l/m}^2/\text{dan} = 120000 \text{ l/ha/dan}$$

$$24 \text{ h} = 86400 \text{ s} \quad \Rightarrow \quad q = 1200000 \text{ l/ha/dan} /: 86400 = 1,4 \text{ l/s/ha}$$

$$Q_{\max} = 0,27 \times 1,4 = 0,378 \text{ l/s} \quad /: 1000 \Rightarrow (1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$Q_{\max} = 0,000378 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Drenske cijevi mogu biti glatke i rebraste. Danas se uglavnom upotrebljavaju rebraste cijevi.

Dimenzije drenske cijevi (rebraste) moguće je odrediti:

a) formulom po Gieseleru

$$d = \frac{1}{3} \sqrt[5]{\frac{Q^2}{I}} \quad \text{pri čemu je:}$$

d - promjer drenske cijevi, u m

Q - količina vode koja protječe kroz cijev (odgovara Q_{\max}), u m^3/s

I - relativni pad drenske cijevi, u m/m

Kod terena s vrlo malim relativnim padovima, drenovima se daju umjetni padovi. Od pada drenske cijevi zavisi brzina tečenja vode u drenu i opasnost od začepljenja. Minimalna brzina vode u cijevi iznosi 0,25 m/s, a maksimalna 1,0 m/s. Ako je brzina vode manja od 0,25 m/s dolazi do zamuljivanja, a ako je veća od 1,0 m/sec narušava se funkcionalnost drenaže. U praksi se, kod sisala, uzima pad 1,5 - 3 ‰.

U račun je uzet pad drenske cijevi od 0,002 m/m

$$d = \frac{1}{3} \sqrt[5]{\frac{0,000378^2}{0,002}} = \frac{1}{3} \sqrt[5]{0,0000714} = 0,049m = 49mm$$

$$\sqrt[5]{x} = x^{\frac{1}{5}} = x^{0,2}$$

b) formulom po Manningu

$$Q = 38 \cdot d^{2,67} \cdot I^{-0,5} \quad \text{gdje je:}$$

d - promjer drenske cijevi, u m

Q - količina vode koja protječe kroz cijev (odgovara Q_{\max}), u l/s

I - relativni pad drenske cijevi, u m/m

$$x^{-a} = \frac{1}{x^a} \quad \Rightarrow \quad Q = \frac{38 \cdot d^{2,67}}{I^{0,5}}$$

$$d^{2,67} = \frac{Q \cdot I^{0,5}}{38}$$

$$d = \left(\frac{Q \cdot I^{0,5}}{38} \right)^{\frac{1}{2,67}}$$

$$d = \left(\frac{0,378 \cdot 0,002^{0,5}}{38} \right)^{0,375} = 0,055m = 55mm$$

Za praktično određivanje promjera cijevi prikladniji je nomogram koji se temelji na ovoj formuli (po Manningu)

Za oba slučaja odabiremo prvi veći promjer drenske cijevi koji postoji na tržištu, a to je promjer od 65 mm.

Na projektu je na svaki dren potrebno upisati kotu ulaza drena i kotu izlaza drena, dužinu drena u metrima, promjer cijevi i relativni pad drenske cijevi.

$$\underline{117,40} \quad \phi = 65, I = 2\text{‰} \textcircled{6} \quad l = 107,5 \text{ m} \quad \underline{117,18}$$

$$0,2 \text{ m visinske razlike na } 100 \text{ m dužine} \qquad 118,30 - 0,90 = 117,40$$

$$100 \text{ m} \rightarrow 0,2 \text{ m} \qquad 117,40 - 0,22 = 117,18$$

$$107,5 \text{ m} \rightarrow x \Rightarrow x = \frac{0,2 \cdot 107,5}{100} = 0,22m$$

5. Troškovnik izvođenja cijevne drenaže

1. Iskolčenje mreže cijevne drenaže

$$10750 \text{ m} \quad 0,10 \text{ (EUR/m')} = \quad 1075,00 \text{ EUR}$$

2. Iskop drenskog jarka drenopolagačem sa frezom širine 0,17 m i dubine 0,9 m te polaganje cijevi

$$10750 \text{ m} \quad (1,40 \text{ EUR/m')} = \quad 15050,00 \text{ EUR}$$

3. Nabava i doprema PVC rebrastih perforiranih drenskih cijevi promjera 65 mm

$$10750 \text{ m} \quad 0,87 \text{ (EUR/m')} = \quad 9352,50 \text{ EUR}$$

4. Nabava, doprema i ugradnja plastičnih čepova promjera 65 mm

$$100 \text{ kom} \quad 0,90 \text{ (EUR/kom)} = \quad 90,00 \text{ EUR}$$

5. Nabava, doprema i ugradnja plastičnih krutih izljeva sa žabljim poklopcem promjera 65 mm

$$100 \text{ kom} \quad 12,40 \text{ EUR/kom} \quad 1240,00 \text{ EUR}$$

6. Nabava i doprema šljunka granulacije 5 - 25 mm

$$504,4 \text{ m}^3 \quad 23,00 \text{ (EUR/m)} = \quad 11601,20 \text{ EUR}$$

(4945 x 0,17 x 0,6)

7. Mehaničko zatrpavanje drenova

$$1743,4 \text{ m}^3 \quad 0,90 \text{ (EUR/m}^3) = \quad 1569,09 \text{ EUR}$$

(5805 x 0,17 x 1,0) + (4945 x 0,17 x 0,9)

UKUPNO: 39.977,79 EUR

Troškovi po 1 ha = 39. 977,79 EUR/ 32,08 ha = 1246,19 EUR

6. NAVODNJAVANJE

6.1. Određivanje evapotranspiracije i bilance vode u tlu metodom Thornthwaitea

ZADATAK: Izraditi bilancu vode u tlu po Thornthwaiteu za Križevce prema srednjim vrijednostima temperatura i oborina za razdoblje 1965 - 1984. godine.

Prilikom izrade vodne bilance potrebno je odrediti:

1. Potencijalnu evapotranspiraciju
2. Stvarnu evapotranspiraciju
3. Manjak, odnosno višak vode u tlu

1. Potencijalnu evapotranspiraciju odrediti po metodi Thornthwaitea:

Metoda koristi empirijski izraz:

$$PET = 1,6 (10 t / I)^a, \text{ pri čemu je:}$$

PET - potencijalna evapotranspiracija u cm/mjesec,

t - srednja mjesečna temperatura,

I - godišnji toplinski indeks, koji se dobiva zbrajanjem vrijednosti mjesečnih toplinskih indeksa (i)

$$i = (t / 5)^{1,514}$$

a - vrijednost koja se izvodi iz godišnjeg toplinskog indeksa pomoću relacije:

$$a = \frac{1,6}{100} I + 0,5.$$

U svrhu lakšeg i bržeg određivanja pojedinih elemenata navedene formule, odnosno vrijednosti potencijalne evapotranspiracije koriste se određene tablice i nomogrami.

Postupak pri određivanju potencijalne evapotranspiracije:

1. odrediti iz tablice mjesečne toplinske indekse (i) na temelju srednjih mjesečnih temperatura zraka
2. odrediti godišnji toplinski indeks (I), koji se dobiva zbrajanjem mjesečnih toplinskih indeksa
3. pomoću nomograma odrediti potencijalnu nekorigitiranu evapotranspiraciju (PETn). Vrijednost godišnjeg toplinskog indeksa (I) nanese se na skalu godišnjeg toplinskog indeksa (na ordinati) i spoji se s tzv. točkom konvergencije. Pomoću dobivenog pravca, a na temelju srednjih mjesečnih

4. temperatura, izravno se očitavaju vrijednosti potencijalne nekorrigirane evapotranspiracije.
5. dobivene vrijednosti (PET_n) potrebno je korigirati za odgovarajuću dužinu dana i mjeseca:

$$PET_k = PET_n \cdot k$$

Koeficijent korekcije(k) određuje se iz tablice na temelju geografske širine za svaki mjesec.

Određivanje bilance vode temelji se na sljedećim pretpostavkama:

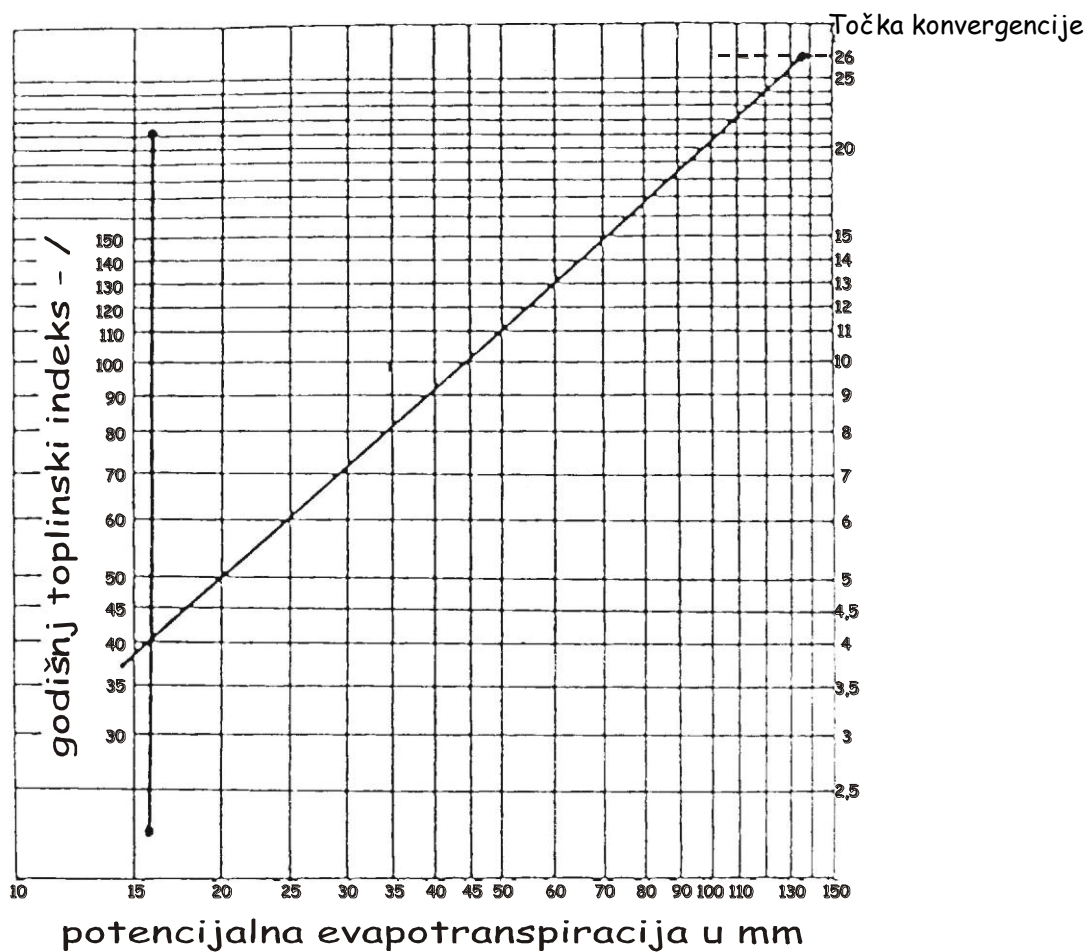
- da tlo sadrži 100 mm rezerve vode u zoni rizosfere i da je tada potpuno zasićeno,
- ostale količine oborina, nakon punjenja kapaciteta od 100 mm, otječu i čine višak vode,
- evapotranspiracija je razmjerna potencijalnoj veličini, dok se ovih 100 mm vode ne istranspirira,
- ako u tlu nema vode, evapotranspiracija je jednaka 0.

Stvarna evapotranspiracija je jednaka potencijalnoj ako su oborine i rezerve vode u tlu veće od iznosa potencijalne evapotranspiracije.

Tablica 2: Vrijednosti mjesečnog toplinskog indeksa “i” prema Thornthwaiteovoj formuli

T °C	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
0			0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
1	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,21	0,23
2	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,42	0,44
3	0,46	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,69
4	0,71	0,74	0,77	0,80	0,92	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,22	1,25	1,29
6	1,32	1,35	1,39	1,42	1,45	1,49	1,52	1,56	1,59	1,63
7	1,66	1,70	1,74	1,77	1,81	1,85	1,89	1,92	1,96	2,00
8	2,04	2,08	2,12	2,15	2,19	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39
9	2,44	2,48	2,52	2,56	2,60	2,64	2,69	2,73	2,77	2,81
10	2,86	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,16	3,21	3,25
11	3,30	3,34	3,39	3,44	3,48	3,53	3,58	3,62	3,67	3,72
12	3,76	3,81	3,86	3,91	3,96	4,00	4,05	4,10	4,15	4,20
13	4,25	4,30	4,35	4,40	4,45	4,50	4,55	4,60	4,65	4,70
14	4,75	4,81	4,86	4,91	4,96	5,01	5,07	5,12	5,17	5,22
15	5,28	5,33	5,38	5,44	5,49	5,55	5,60	5,65	5,71	5,76
16	5,82	5,87	5,93	5,98	6,04	6,10	6,15	6,21	6,26	6,32
17	6,38	6,44	6,49	6,55	6,61	6,66	6,72	6,78	6,84	6,90
18	6,95	7,01	7,07	7,13	7,19	7,25	7,31	7,37	7,43	7,49
19	7,55	7,61	7,76	7,73	7,79	7,85	7,91	7,97	8,03	8,10
20	8,16	8,22	8,28	8,34	8,41	8,47	8,53	8,59	8,66	8,72
21	8,78	8,85	8,91	8,97	9,04	9,10	9,17	9,23	9,29	9,36
22	9,42	9,49	9,55	9,62	9,68	9,75	9,82	9,88	9,95	10,01
23	10,08	10,15	10,21	10,28	10,35	10,51	10,48	10,55	10,62	10,68
24	10,75	10,82	10,89	10,95	11,02	11,09	11,16	11,23	11,30	11,37
25	11,44	11,50	11,57	11,64	11,71	11,78	11,85	11,92	11,99	12,06
26	12,13	12,21	12,28	12,35	12,42	12,49	12,56	12,63	12,70	12,78
27	12,85	12,92	12,99	13,07	13,14	13,21	13,28	13,36	13,43	13,50
28	13,85	13,65	13,72	13,80	13,87	13,94	14,02	14,09	14,17	14,24
29	14,32	14,39	14,47	14,54	14,62	14,69	14,77	14,84	14,92	14,99
30	15,05	15,15	15,52	15,30	15,38	15,45	15,53	15,61	15,68	15,76
31	15,84	15,92	15,99	16,07	16,15	16,23	16,30	16,38	16,46	16,54
32	16,62	16,70	16,78	16,85	16,93	17,01	17,09	17,17	17,25	17,33
33	17,41	17,49	17,57	17,65	17,73	17,81	17,89	17,97	18,05	18,13
34	18,22	18,30	18,38	18,46	18,54	18,62	18,70	18,79	18,87	18,95
35	19,03	19,11	19,20	19,28	19,36	19,45	19,53	19,61	19,69	19,78
36	19,86	19,95	20,03	20,11	20,20	20,28	20,36	20,45	20,53	20,62
37	20,70	20,79	20,87	20,96	21,04	21,13	21,21	21,30	21,38	21,47
38	21,56	21,64	21,73	21,81	21,90	21,99	22,07	22,16	22,25	22,33
39	22,42	22,51	22,59	22,68	22,77	22,86	22,95	23,03	23,12	23,21
40	23,30									

Nomogram za određivanje vrijednosti potencijalne evapotranspiracije po Thorntwaite-u:



T °C	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0
ETP mm	135	139	144	148	152	155	159	162

Tablica 3: Vrijednost koeficijenta korekcije u formuli Thorntwaitea

Geog. širina	S _I	V _{II}	O _{III}	T _{IV}	S _V	L _{VI}	S _{VII}	K _{VIII}	R _{IX}	L _X	S _{XI}	P _{XII}
0	1,04	0,94	1,14	1,10	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
10	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
15	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
20	0,95	0,90	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	0,93	0,94
25	0,93	0,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
26	0,92	0,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,90	0,90
28	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,90	0,90
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,90	0,89
30	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
31	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
32	0,89	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03	0,98	0,88	0,87
33	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	1,03	0,97	0,88	0,86
34	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	1,03	0,97	0,87	0,86
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
36	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
37	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
38	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
43	0,82	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,30	1,20	1,04	0,95	0,80	0,76
45	0,80	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
46	0,79	0,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	0,94	0,79	0,74
47	0,77	0,80	1,02	1,14	1,30	1,32	1,33	1,22	1,04	0,93	0,78	0,73
48	0,76	0,80	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	0,93	0,77	0,72
49	0,75	0,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	0,93	0,76	0,71
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,70

6.2. Navodnjavanje kišenjem

ZADATAK: Na parceli od 21 ha (300 m x 700 m) potrebno je projektirati sustav navodnjavanja kišenjem. Reljef parcele je ravan. Uz kraću stranicu prolazi kanal SK-1 širine 7 m. U kanalu ima dovoljno vode za navodnjavanje i povoljne je kakvoće.

Na parceli će se uzgajati lucerna. Vegetacijsko razdoblje trajat će 183 dana. Dubina zone korijena do koje će se navodnjavati iznosi 0,5 m. Količina oborina u vegetacijskom razdoblju iznosi 468 mm, pri čemu je 398 mm efektivnih oborina.

Tlo je pjeskovita ilovača s volumnom gustoćom $1,4 \text{ g/cm}^3$. Poljski vodni kapacitet (Pkv) iznosi 26 % mas. Trenutačna vlažnost tla (Tv) iznosi 16 % mas. Prosječno upijanje (infiltracija) vode u tlo iznosi 7,6 mm/ha. Podzemna voda tijekom vegetacijskog razdoblja nalazi se na dubini 4,5 m od površine tla i nema utjecaja na opskrbu biljaka vodom.

Rezultati provedenog hidrološkog proračuna pokazuju da evapotranspiracija kulture u vegetaciji iznosi 809 mm, a nedostatak vode 355 mm.

Potrebno je odrediti sljedeće:

1. normu navodnjavanja (N_n),
2. obrok navodnjavanja (O),
3. broj navodnjavanja,
4. početak navodnjavanja,
5. izbor rasprskivača,
6. nacrtati sustav u mjerilu $M = 1 : 2500$.

1. **Norma navodnjavanja** (N_n) je nedostatak vode ili ukupna količina vode koju je potrebno dodati navodnjavanjem za vrijeme vegetacije. Vrijednost N_n je u stvari netto norma navodnjavanja i zbog gubitka vode pri navodnjavanju (ishlapljivanjem, površinskim otjecanjem i filtracijom) potrebno ju je povećati pomoću koeficijenta iskorištenja vode (γ).

$$N_n = 355 \text{ mm}$$

$$N_b = \frac{N_n}{\gamma} \quad \text{gdje je:}$$

N_b - bruto norma navodnjavanja, u mm

N_n - neto norma navodnjavanja, u mm

γ - koeficijent iskorištenja vode pri navodnjavanju, koji za sustav kišenja iznosi 0,8

$$N_b = 355 : 0,8 = 444 \text{ mm}$$

2. Obrok navodnjavanja je količina vode koja se dodaje jednim navodnjavanjem (u m³/ha ili u mm), a ovisi o:

- vrsti tla
- dubini vlaženja
- vlazi u tlu prije navodnjavanja

Odrediti prema formuli:

$$O = 100 Vg h (Pkv - Tv) \quad \text{gdje je:}$$

O - obrok navodnjavanja, u m³/ha

Vg - volumna gustoća tla, u g/cm³

h - dubina vlaženja tla, u m

Pkv - poljski vodni kapacitet, u % mas

Tv - trenutačna vlažnost tla, u % mas

Ako su poljski vodni kapacitet i trenutačna vlažnost tla izraženi u volumnim postocima upotrebljava se formula:

$$O = 100 h (Pkv - Tv)$$

$$Vg = 1,4 \text{ g/cm}^3$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

$$Pkv = 26 \text{ \% mas}$$

$$Tv = 16 \text{ \% mas}$$

$$O = 100 \times 1,4 \times 0,5 (26 - 16) = 700 \text{ m}^3/\text{ha} = 70 \text{ mm}$$

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ l/m}^2 = 10 \text{ 000 l/ha} = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Vrijednost od 70 mm predstavlja netto obrok i također ga je potrebno povećati pomoću koeficijenta iskorištenja vode kod sustava kišenja ($\gamma = 0,8$).

$$Ob = O : \gamma = 70 : 0,8 = 87,5 \text{ mm}$$

Bruto količina vode koja će se dodati jednim navodnjavanjem iznosi 87,5 mm.

3. Broj navodnjavanja

$$\text{Broj navodnjavanja} = Nb : Ob$$

$$\text{Broj navodnjavanja} = 444 : 87,5 = 5,11, \text{ odnosno } 5 - 6 \text{ navodnjavanja}$$

4. Početak navodnjavanja

Održivanje trenutka početka navodnjavanja pomoću turnusa navodnjavanja:

Turnus navodnjavanja predstavlja vremensko razdoblje u danima između dva navodnjavanja, a određuje se prema formuli:

$$T = \frac{O}{Ud} \quad \text{pri čemu je:}$$

T - turnus navodnjavanja, u danima

O - obrok navodnjavanja, u mm

Ud -dnevni utrošak vode, u mm/dan, a dobije se dijeljenjem vrijednosti evapotranspiracije kulture u vegetaciji brojem dana vegetacije.

$$Ud = 809 \text{ mm} : 183 \text{ dana} = 4,4 \text{ mm/dan}$$

$$T = 70 \text{ mm} : 4,4 \text{ mm/dan} = 15,9 \text{ odnosno } 16 \text{ dana}$$

U našem slučaju primjeniti ćemo modificirani turnus navodnjavanja. Kod ovog turnusa uzimaju se u obzir i oborine između dva navodnjavanja. Ako padne više od 25 mm oborina navodnjavanje se odgađa za čitav turnus. Ako padne 10 - 25 mm kiše navodnjavanje se odgađa za pola turnusa. Ako padne 10 mm oborina i manje navodnjavanje se vrši prema redovitom turnusu.

5. Izbor rasprskivača ovisi o:

- kapacitetu rasprskivača
- dometu rasprskivača
- brzini vjetra
- upijanju (infiltraciji) tla

Odabrali smo rasprskivač dometa 30 m.

6. Nacrtati sustav u mjerilu M = 1 : 2500

Sustav navodnjavanja kišenjem sastoji se od:

- izvora vode
- agregata (crpka + pogonski motor)
- usisnog cjevovoda
- glavnog cjevovoda
- kišnih krila
- rasprskivača

U svrhu što ravnomjernijeg kišenja potrebno je prikladno razmjestiti rasprskivače po površini koja se navodnjava. Pri rasporedu cijelog uređaja za kišenje treba voditi računa o položaju i vrsti izvora vode, topografskim uvjetima, te veličini i obliku parcele.

U praksi se najčešće primjenjuje raspored rasprskivača u obliku kvadrata. Pri tom je razmak kišnih krila jednak razmaku rasprskivača, tj:

$$d = 1,42 r$$

d - razmak rasprskivača i kišnih krila, u m

r - domet rasprskivača, u m

$$d = 1,42 \times 30 = 42,6 = 43 \text{ m}$$

7. LITERATURA

Butorac, A.: Opća proizvodnja bilja (praktikum), Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb, 1982.

Ćirić, M.: Pedologija, Svjetlost, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, knjiga II izdanje, Sarajevo, 1986.

FAO.: Guidelines for Soil Description. Soil Resources, Management and Conservation Service Land and Water Development Division, Rome, 1990.

FAO.: FAO-Unesco Soil map Of the World: Revised Legend. World Soil Resources Report 60, FAO/Unesco/ISRIC, Rome, 1990.

JDPZ.: Kemijske metode ispitivanja zemljišta. Priručnik, knjiga I, Beograd, 1966.

JDPZ.: Metodika terenskog ispitivanja zemljišta i izrada pedoloških karata, Priručnik, Beograd, 1967.

JDPZ.: Metodika ispitivanja fizičkih svojstava zemljišta. Priručnik, knjiga V, Beograd, 1971.

Racz, Z.: Meliorativna pedologija, II dio, Sveučilište, Zagreb, 1981.

Racz, Z.: Agrikulturna mehanika tla, Sveučilište, Zagreb, 1985.

Šimunić, I.: Pisana predavanja iz melioracija, Poljoprivredni institut Križevci, Križevci, 1988.

Šimunić, I., Klačić, Ž.: Pisane vježbe iz melioracija za studente Agronomskog fakulteta. Agronomski fakultet, Zagreb, 1994.

Škorić, A.: Priručnik za pedološka istraživanja, Sveučilište, Zagreb, 1982.

Škorić, A., Filipovski, G. Ćirić, M.: Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Akademija nauka i umjetnosti B i H, Odjeljenje prirodnih i matematičkih nauka, knjiga 13, Sarajevo, 1985.

Škorić, A.: Postanak, razvoj i sistematika tla, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb, 1990.

Škorić, A.: Sastav i svojstva tla. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb, 1991.

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

Vidaček, Ž., Husnjak, S., Sraka, M.: Hidropedologija, Agronomski fakultet, Zavod za pedologiju, Zagreb 1993.

***: Priručnik za hidrotehničke melioracije, Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, knjiga 1, Zagreb, 1983.

***: Priručnik za hidrotehničke melioracije, Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, knjiga 2, Zagreb, 1984.

***: Priručnik za hidrotehničke melioracije, Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, knjiga 3, Zagreb, 1985.

***: Priručnik za hidrotehničke melioracije, Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, knjiga 4, Zagreb, 1987.

Izdavač:

Visoko gospodarsko učilište u Križevcima

Lektorica:

Vlatka Raguž, prof.

Tehnički uredili:

mr. sc. Tomislava Peremin Volf 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 izdavačku djelatnost:

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

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

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu

Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu

pod rednim brojem 646569.

ISBN 978-953-6205-09-7 (cjelina)

ISBN 978-953-6205-12-7 (Dio 1)