

UNIVERZITET U BEOGRADU GRAĐEVINSKI FAKULTET

Odsjek za hidrotehniku i vodno ekološko inženjerstvo



MASTER RAD

**NUMERIČKO MODELIRANJE I LABORATORIJSKA
VERIFIKACIJA VERTIKALNE INFILTRACIJE
U PIJESKU**

Mentor: Miloš Stanić

Student: Ana Đačić

Broj indeksa: 597/11

Beograd, 2013

SADRŽAJ

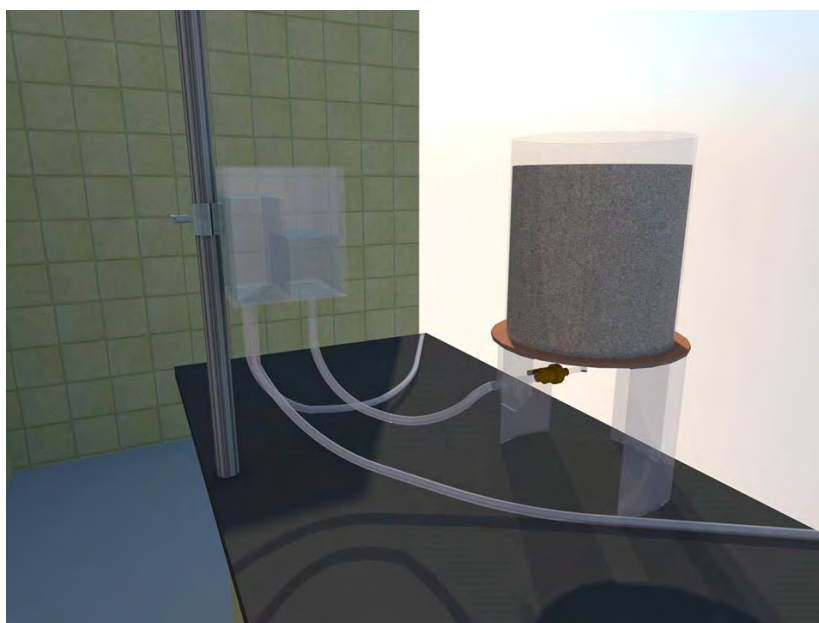
1. UVOD.....	3
2. MJERENJE VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA I MJERNA OPREMA	5
2.1. Voda u tlu.....	5
2.2. Metode za mjerenje vlažnosti zemljišta	5
2.2.1. Direktne metode.....	5
2.2.2. Daljinske metode	6
2.2.3. Geofizičke metode	6
2.3. Kapacitivne sonde, kapacitivnost i dielektrična konstanta.....	12
2.4. Vegatronix sonde.....	14
3. PRIPREME MJERENJA – PROVJERA RADA SONDI	18
3.1. Provjera uticaja vremena „zagrijavanja“ sondi	18
3.2. Uticaji drugih predmeta na rad sondi i njihovi međusobni uticaji	19
3.3. Provjera ponovljivosti mjerenja	19
3.4. Provjera uticaja temperatue	20
3.5. Mjerenje nivoa vode pomoću Vegatronix sondi za mjerenje vlažnosti	21
4. MJERNA INSTALACIJA I METODE MJERENJA	23
4.1. Opis laboratorijske instalacije za mjerenje vlažnosti i metode mjerenja	23
4.2. Rezultati mjerenja vlažnosti i obrada rezultata	25
4.2.1. Sitan pijesak.....	25
4.2.2. Krupan pijesak	29
4.3. Određivanje koeficijenta infiltracije, metod i rezultati	34
4.4. Ispitivanje granulometrijskog sastava pijeska.....	36
5. RAČUNSKI MODEL INFILTARCIJE U PJESKU.....	39
5.1. Računski dio eksperimenta- Green Ampt metoda.....	39
5.2. Proračun i rezultati	42
5.2.1. Krupan pijesak	42
5.3.2. Sitan pijesak.....	44
6. ZAKLJUČCI SA PREDLOGOM ZA DALJI RAD.....	47
7. LITERATURA	48
8. PRILOZI.....	49
VEGATRONIX SONDE	49

Vegatronix sonde za mjerenje vlažnosti zemljišta (VH400 serija).....	49
Vegatronix sonde za mjerenje temperature THERM200.....	51
LOGGER-8-USB.....	53

1. UVOD

Vlažnost zemljišta je jedna od najbitnijih njegovih osobina, koja definiše i mnoge druge fizičke karakteristike. Za optimizaciju prinosa u poljoprivredi, sadržaj vlage u zemljištu je jedan od najznačajnijih faktora koji utiče na optimalan rast biljaka i proizvodnju useva. Smisao upotrebe senzora za mjerenje vlažnosti jeste preciznije znanje o njenom rasporedu u zemljištu, kretanju i pristupačnosti biljci. Danas postoji veliki broj metoda i instrumenata za njeno mjerenje.

U ovom radu opisan je test vertikalne infiltracije vode u pijesku. Cilj testa je bio da se vidi vertikalno kretanje vlažnog fronta pri kapilarnom penjanju vode kroz pijesak i pri kretanju usled djelovanja hidrostatičkog pritiska. Test je urađen za dva različita tipa pjeska, jedan sitnije i jedan krupnije granulacije. Sastojao se iz laboratorijskog i računskog dijela.



Slika 1.1. Model kolone sa pijeksom i preliva korišćenih u laboratorijskom dijelu testa

Laboratorijski dio testa vertikalne infiltracije vode kroz pijesak je urađen u laboratoriji hidrotehničkog zavoda. Na slici 1.1 je prikazan model kolone sa pijeskom u kojoj je ispitivana infiltracija. Za potrebe ovog ispitivanja korišćene su Vegatronix sonde za mjerenje vlažnosti i temperature. Uz pomoć njih je posmatrano pomjeranje i promjene vlažnosti po dubini kolone u koju je sipana voda. U tekstu je dat opis ovih sonda i pratećeg logera. Priloženo je uputstvo za njihovo korišćenje i setovanje. S obzirom da ove sonde nikad ranije nisu korišćene prije eksperimentalnog dijela urađeno je ispitivanje njihovog rada. Provjerena je njihova ponovljivost i tačnost, uticaji promjene temperature na očitane vrijednosti kao i prisustvo drugih predmeta u njihovoj blizini. Svrha pripremnih mjerenja je bila da se u toku eksperimentalnog dijela testa izbjegnu sve nepravilnosti u njihovom radu. U radu su prikazani rezultati pripremnih mjerenja. Ukazano je na greške do kojih može doći u toku

korišćenja Vegatronix sonde i mogući razlozi njihove pojave, kao i predlozi njihovog rešenja. Dat je opis laboratorijske instalacije korišćene u eksperimentalnom dijelu testa i objašnjene su etape testa kao i načini skupljanja podataka. Objašnjen je postupak obrade dobijenih podataka. Za potrebe računске metode laboratorijski je dobijena vrijednost Darsijevog koeficijenta infiltracije kroz pijesak metodom sa promjenljivim nivoom. Kao model Darsijevog aparata iskorišćena je laboratorijska instalacija namjenjena ispitivanju infiltracije, prikazana na slici 1.1. U tekstu je dat detaljan opis metode sa rezultatima. U laboratoriji za materijale i betonske konstrukcije urađeno je određivanje granulometrijskog sastava korišćenog pijeska, metodom suvog sisanja.

Test se osim eksperimentalnog dijela sastojao i od računskog. Računskim dijelom eksperimenta je uz pomoć metode Green Ampt-a dobijena brzina kretanja vlažnog fronta u koloni. U tekstu je dat detaljan opis korišćene računске metode, izvođenje jednačina, kao i metode dobijanja korišćenih parametara.

Rezultati i fizičkog dijela testa i računskog modela su upoređeni i prikazani grafički u tekstu.

2. MJERENJE VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA I MJERNA OPREMA

2.1. Voda u tlu

Pored čvrstih supstanci u tlu se nalazi i vazduh čiji udeo varira u zavisnosti od vrste tla. Kompaktno tlo sadrži manje vazduha (zapreminski oko 40 %) nego pjeskovito tlo (i do 60 %). Ako je udio vazduha u tlu veći onda je gustina tla manja tako da vazduh može biti zamjenjen vodom. Količina vode koja se nalazi u porama stijena predstavlja njenu vlažnost. Ukoliko su sve pore u zemljištu ispunjene vodom tlo je zasićeno, u suprotnom može biti nezasićeno ili djelimično zasićeno.

Prirodna vlažnost stijena je promjenljiva i u prostoru i u vremenu. Ona zavisi od vrste stijena, temperature, pritiska vazduha i atmosferskih taloga. Pod normalnim uslovima tlo nije u stanju zadržati svu količinu vode tako da ona ponire. Stanje u kojem tlo može zadržati vodu naziva se poljski kapacitet tla. Tlo nije u stanju dugo zadržati vodu i poljski kapacitet tla je daleko manji od stepena zasićenosti. Suprotno silama koje vežu vodu za tlo biljke "usisavaju" vodu preko korena. Napon usisavanja biljaka je ograničen i nije u stanju izdvojiti svu vodu iz tla. Stanje do kojega biljke mogu izdvojiti vodu iz tla nazivamo tačka venuća. Biljke mogu koristiti vodu koja je na raspolaganju između tačke venuća i poljskog kapaciteta tla za vodu.

2.2. Metode za mjerenje vlažnosti zemljišta

Metode za mjerenje sadržaja vode u zemljištu se mogu podjeliti na: direktne i indirektno metode, tj. direktno mjerenje vlažnosti zemljišta i mjerenje neke druge fizičke veličine koja je u funkciji vlažnosti.

Prilikom izbora metode mjerenja treba razmotriti:

- Osobine zemljišta (tekstura, organske materije, heterogenost..)
- Razlog mjernja (palniranje navodnjavanja, pracenje, istraživanje..)
- Preciznost I potreban opseg vlažnosti
- Cijenu opreme
- Stepenu obučeniosti osoblja za rad
- Održavanje instrumenta

Dalje u tekstu su dati opisi nekih od metoda mjerenja i mjerne opreme.

2.2.1. Direktne metode

Direktno metode spadaju u destruktivne metode jer je potrebno izdvojiti uzorak zemljišta da bi se izmjerio sadržaj vode. Tu spadaju:

- 1) Termogravimetrijska metoda – isušivanje uzoraka u pećima do konstantne mase
- 2) Destilaciona metoda – korišćenjem tečnosti (mineralno ulje, toluol, ksilol..) izazvati isparavanje vode iz uzorka
- 3) Ekstrakcioni metod – upotreba desikanta koji postavljen u sud sa uzorkom upija svu vlagu iz njega
- 4) Hemijska metoda – korišćenjem raznih reagenska koji u kontaktu sa vodom stupaju u hemijsku reakciju

2.2.2. Daljinske metode

U daljinske metode spada optički metod mjerenja vlažnosti zemljišta. Ova metoda se zasniva na snimanju i spektralnoj analizi odziva laserskog izvora ili snimanju spektralne karakteristike terena iz vazduha. Analiza snimka predstavlja poređenje boje terena ili biljnog pokrivača. Ova metoda je efikasna na velikim površinama, ali je veoma skupa.

2.2.3. Geofizičke metode

Mikrotalasna metoda

Mikrotalasne metode mjerenja vlage zasnivaju se na prostiranju mikro talasa kroz materijal i mjerenju njihovog faznog kašnjenja koje je osjetljivo na prisustvo vode. Ova metoda zahtjeva veoma složeni sistem generisanja, prijema i analize signala i praktično se ne može primjeniti u složenim terenskim uslovima. Nedostatak ove metode je u tome što na rezultate mjerenja utiče samo materijal koji se nalazi u pravcu prostiranja mikrotalasa.

Mjerenje uz pomoć tenziometra

Najpoznatiji metod mjerenja potencijala vlažnosti zemljišta obavlja se tenziometrom. Princip rada tenziometra sastoji se u tome, da voda iz cijevi prolazi kroz pore keramičke čašice ili membrane u zemljište do uspostavljanja ravnoteže između potencijala zemljišta da zadrži vodu i stvorenog vakuma u cijevi, koji se registruje na vakummetru. Skala na vakummetru je najčešće prikazana od 0-100 (cb ili kPa).

Kod suvog zemljišta, voda biva izvučena iz instrumenta, smanjujući količinu vode u instrumentu i stvarajući parcijalni vakum koji se onda očitava na brojčaniku. Što je suvlje zemljište, to su veće vrijednosti vakuma. Navodnjavanjem se ovaj postupak preokreće. Naime, vakum koji je stvoren zbog suvog zemljišta sada uvlači vodu iz zemljišta nazad u instrument, i brojčanik pokazuje niže vrijednosti.

Prednosti

- Direktno čitanje
- Mjerni radijus je do 10.2cm

- Kada se koristi transduktor pritiska moguće je neprekidno čitanje
- Moguće je izbjeći napajanje strujom ili elektro napajanje
- Minimalne potrebne vještine korišćenja
- Mjerenje ne zavisi od saliniteta jer soli mogu slobodno da se kreću kroz keramičku kapu

Nedostaci

- Ograničen usisni kapacitet (<1bar)
- Sporo vrijeme odziva
- Može se desiti da keramički poklopac izgubi kontakt sa zemljom pa ga je potrebno reinstalirati
- Zahtjeva često punjenje cijevi vodom, pogotovo u suvim uslovima

Neutronske sonde

Mjerenje pomoću neutronske sonde (slika 2.1) se vrši tako što se u rupi u zemlji stavlja tanka duga cijev a na njoj izvor radioaktivnosti i detektor. Emitovani neutroni se usporavaju u sudaru sa jezgama vodonika i rasipaju. Broj usporenih neutrona se registruje detektorima. On će zavistiti od broja jezgara vodonika, tako da predstavlja mjeru količine vode u zemljištu. Zavisnost usporenih neutrona i jezgara vodonika je linearna.

Prednosti

- Velika mjerna zapremina (prečnik sfere djelovanja 10.2 cm - 40.6 cm, zavisno o sadržaju vlage)
- Salinitet i prisustvo vazdušnih mjehurova ne utiču na rezultat

Nedostaci

- Opasnost od zračenja
- Podrazumjeva se obučeno osoblje
- Čitanja sa instrumenta dugo traju
- Mjerenja blizu površine često nisu tačna
- Sfera uticaja se mjenja, povećava se što je zemlja suvlja jer je manje molekula vode pa neutroni mogu dalje da putuju, manja je što je tekstura zemljišta finija, ako postoje razlike u sadržaju vode okolo sonde sfera uticaja ima iskrivljen oblik



Slika 2.1. Neutronska sonda za mjerenje vlažnosti

Instrumenti zasnovani na električnom otporu

Sensor u vidu gipsanog bloka predstavlja elektrohemijsku ćeliju sa zasićenim rastvorom kalcijum sulfata kao elektrolita. Sastoje se od poroznih gipsanih blokova sa parom elektroda koji se postavljaju u zemljište. Voda iz zemljišta se upija u gips sve dok se ne postigne ravnoteža između pritiska u porama zemlje i gipsa. Tada se mjeri električni otpor između elektroda, koji je pokazatelj sadržaja vlage u gipsu. Potencijal zemljišne vlage je u direktnoj vezi sa sadržajem vlage u gipsu. Problem je što blok vremenom propada gubeći svoje kalibracione osobine. Preporučuje se da pore bloka odgovaraju teksturi zemljišta u kojem se koriste. Očitavanja zavise od temperature (do 3% razlike po °C). Opseg mjerenja je 0.3-1.0 bara.



Slika 2.2. Senzor u vidu gipsanog bloka

Prednosti

- Mjerni radius do 10.2cm
- Nije potrebno održavanje
- Mogućnost neutralisanja saliniteta do 6dS/m
- Pogodan za regulisanje deficita navodnjavanja

Nedostaci

- Niska rezolucija, ograničena upotreba u istraživanju
- Karakteristike bloka se mijenjaju tokom vremena
- Veoma sporo vrijeme reakcije pa stoga ne rade u uslovima pjeska gdje se voda crpi mnogo brže nego što se instrument dovodi u ravnotežu

Kod sensora, čiji se rad zasniva na mjerenju električnog otpora, elektrode mogu biti ugrađene u materijal od kvarcnih granula, okružen sintetičkom membranom i zaštitnom mrežicom od nerđajućeg čelika. Ova vrsta porozne sredine omogućava mjerenje u vlažnijim uslovima i duže traje nego gipsane ploče. Međutim, nakon mjerenja u jako suvom tlu, ovi senzori imaju problem ponovnog kvašenja.



Slika 2.3. Senzor sa elektrodama uronjenim u kvarcni pijesak

Dialektrične metode

Kod dialektričnih metoda mjerenja vlažnosti koriste se instrumenti koji mjere dialektričnu konstantu zemljišta, K_{ab} , koja u vodi ima mnogo veću vrijednost ($K_{av} = 81$) nego za zemljište i vazduh ($K_{as} = 2-5$ za mineralna zemljišta, $K_a=1$ za vazduh), pa je ukupna konstanta uslovljena prisustvom vode. Formula 2.1 predstavlja empirijsku formulu dnosa između K_{ab} i zapreminske vlažnosti zemljišta (VWC).

$$VWC = -5.3 \cdot 10^{-2} + 2.29 \cdot 10^{-2} K_{ab} - 5.5 \cdot 10^{-4} K_{ab}^2 + 4.33 \cdot 10^{-6} K_{ab}^3 \quad 2.1$$

Ovaj odnos funkcioniše za većinu mineralnih zemljišta (nezavisno od sastava zemljišta i tekstura) i vlage ispod 50 %. Za veći sadržaj vode, organska ili vulkanska zemljišta, neophodna je posebna kalibracija.



Slika 2.4. Dialektrična sonda za mjerenje vlažnosti

TDR sonde (time domain reflectometry)

Kod TDR sonde dielektrična konstanta zemljišta K_{ab} se određuje mjerenjem vremena propagacije elektromagnetnog impulsa duž transmisionne linije koja je okružena zemljištem. Brzina propagacije (v) je funkcija K_{ab} , pa je:

$$K_{ab} = \left(\frac{c}{v}\right)^2 = \left(\frac{ct}{2L}\right)^2 \quad 2.2$$

Gdje je c brzina elektromagnetnih talasa u vakumu ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) a L dužina sonde.

Prednosti

- Obično nisu potrebne kalibracije za različite tipove zemljišta
- Minimalan uticaj na zemljište
- Relativno neosjetljivi na normalan nivo saliniteta

Nedostaci

- Ograničena primjenljivost u visoko slanim uslovima ili u visoko provodljivim glinama
- Potrebna posebna kalibracija u zemljištu koje ima velike količine vezane vode
- Relativno mala sfera osjetljivosti (radijus oko 3,5cm oko transmisionne linije)

FDR sonde (frequency domain reflectometry)

Električna kapacitivnost kondenzatora zavisi od sadržaja vode. Kada se kondenzator (napravljen od metalnih ploča ili šipke) poveže sa oscilatorom, koji pravi električno polje, promjene vlažnosti se mogu detektovati kao promjene u frekvenciji operativnog kola. To je osnova rada sonde zasnovanih na principu mjerenja frekvencija (Frequency Domain Reflectometry - FDR).

Sonde se obično sastoje od dvije ili više elektroda koje se stavljaju u zemlju. Sonda se ubacuje u pristupnu cijev i tako se instalira u zemlji. Time se omogućava mjerenje na različitim dubinama. Preporučuje se kalibracija na različite vrste zemljišta. Operativna frekvencija ovih uređaja obično ispod 100Hz.

Prednosti

- Velika tačnost nakon kalibracije ($\pm 0.01 \text{ ft}^3\text{ft}^{-3}$)
- Uspjeva očitavanje i u uslovima velikog saliniteta

Nedostaci

- Mala sfera osjetljivosti (oko 4.1cm)
- Neophodna instalacija da bi se izbjegli vazdušni džepovi

- Kritična je za pouzdana mjerenja zbog lošeg kontakta između senzora i zemlje
- Jako je osjetljiva na temperaturu, gustinu, sadržaj glina i vazduha

Fazni pomak

Sonde zasnovane na ovom principu rada se sastoje od dvije kružne žice koje se spajaju u tijelu senzora, gdje se nalaze električni dijelovi. Nakon prelaska fiksnog rastojanja, sinusoidni talas će pokazivati fazni pomak u odnosu na početnu fazu. Ovaj fazni pomak zavisi od dužine, frekvencije i brzine propagacije. S obzirom da brzina propagacije zavisi od sadržaja vode u zemljištu, za poznatu frekvenciju i dužinu puta sadržaj vode se može odrediti na osnovu faznog pomaka.

Sonda koristi poseban talasovod (dva otvorena koncentrična metalna kruga), dizajniran tako da mjerenje faze može biti obavljeno i na početku i na kraju talasovoda.



Slika 2.5. Sonda koja radi na principu faznog pomaka

Prednosti

- Velika radna zapremina (15.2 L do 18.9 L)

Nedostaci

- Potrebna posebna kalibracija
- Osjetljiv pri nivoima saliniteta >3 dS/m
- Potrebno je da trajno bude instaliran na terenu

Metod rasipanja toplote (toplotne sonde)

Voda zrači toplotu zbog svoje toplotne provodljivosti, pa se suvi materijali griju mnogo brže nego mokri. Protok toplote u poroznim materijalima je proporcionalno sadržaju vode. Toplotna sonda se sastoji od poroznog bloka koji sadrži izvor toplote i precizni temperaturni sensor. Temperatura bloka se mjeri prije i posle otpuštanja toplote. Na osnovu varijacije temperature se dobija vlažnost zemljišta. S obzirom da je porozni blok koji je uronjen u zemlju u ravnoteži sa tlom, njegova karakteristična kriva će dati vlažnost zemljišta. Pa stoga, sensor mora biti kalibrisan na vezu između mjerenih promjena temperature i vodnog potencijala zemljišta. Opseg mjerenja je 0.1-30 bara (manje precizan u opsegu 10-30 bar)



Slika 2.6. Toplotna sonda

Prednosti

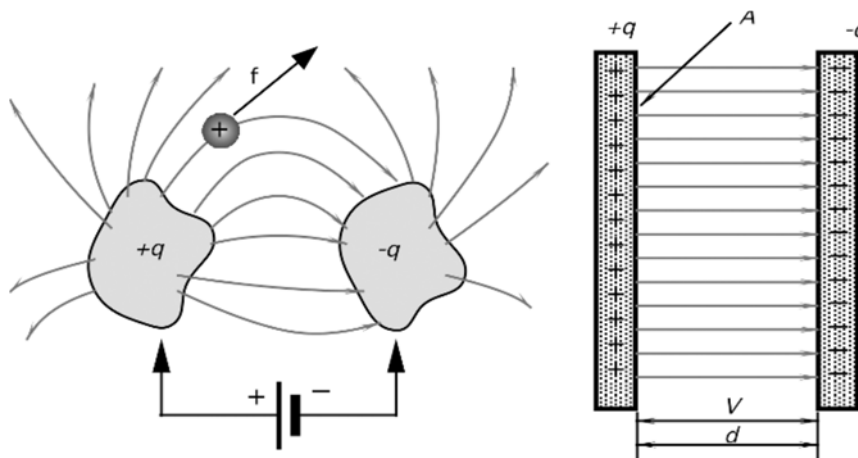
- Mjerni radijus do 10.2cm
- Nije potrebno održavanje
- Mogućnost neprekidnog čitanja
- Salinitet nema uticaja na čitanja

Nedostaci

- Veoma sporo vrijeme reakcije pa stoga ne rade u uslovima pjeska gdje se voda crpi mnogo brže nego što se instrument dovodi u ravnotežu
- Potreban kontrolor da kontroliše grijanje i operacije mjerenja
- Prilično velika potrošnja energije zbog čestih čitanja

2.3. Kapacitivne sonde, kapacitivnost i dielektrična konstanta

Ako se posmatraju dva provodnika proizvoljnog oblika povezana na suprotne polove baterije, provodnici će dobijati jednake količine naelektrisanja suprotnog znaka (Slika 2.7.). Kada bi se sklonila baterija i oni stavili u vakuum, provodnici bi zadržali naelektrisanje beskrajno dugo. Kombinacija provodnika koji mogu da zadrže naelektrisanje, tj.električno polje, čine kondenzator.



Slika 2.7. Šematski prikaz kondenzatora

Bitna karakteristika kondenzatora je kapacitivnost. SI jedinica za električni kapacitet je 1F (farad). Kada se kondenzator ne nalazi u vakumu sredina između provodnika utiče na njegovu kapacitivnost. Ona se povećava sa faktorom k poznatim kao dielektrična konstanta. Povećanje kapacitivnosti zbog prisustva dielektrika je rezultat molekularne polarizacije.

Dielektrična konstanta (ϵ) je odnos između gustine I jačine električnog polja I predstavlja proizvod dielektrične konstante posmatrane sredine I dielektrične konstante vakuma koja iznosi:

$$\epsilon_0 = 8.8541878176 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \quad 2.3$$

Ona zavisi od vrste materijala koji se nalazi između ploča kondenzatora. U tabeli 2.1 su prikazane vrijednosti dielektrične konstante za različite materijale, i može se primjetiti da je njena vrijednost u vodi 80 puta veća nego u vakumu i da se znatno razlikuje u odnosu na druge materijale. Upravo na toj osobini se zasniva rad kapacitivnih sonde za mjerenje vlažnosti i napona.

Tabela 2.1. Vrijednosti dielektrične konstante za različite materijale

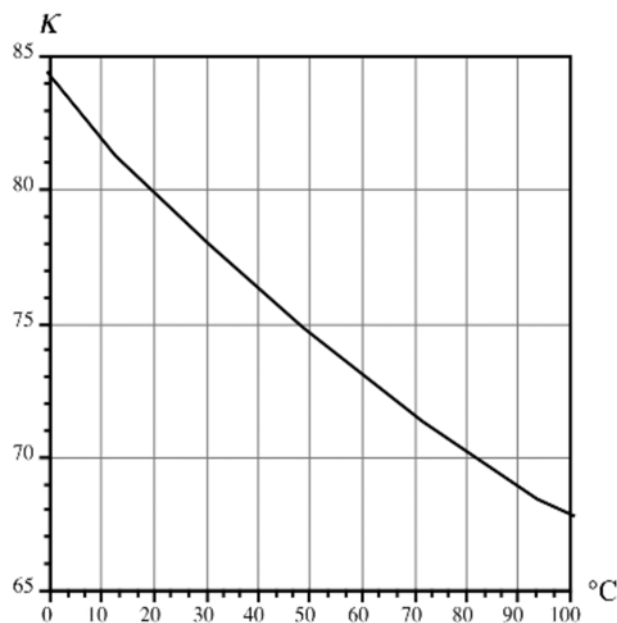
Materijal	ϵ
Aluminijum	$-1300+1,3 \cdot 10^{14}$
Srebro	$-85+8 \cdot 10^{12}$
Vakum	1 (po definiciji)
Vazduh	1.00054
Papir	3.5
Metanol	30
Voda (20°C)	80.10

Kondenzatori ispunjeni vazduhom mogu se koristiti kao senzori za mjerenje relativne vlažnosti, zbog toga što vlažnost vazduha u atmosferi utiče na promjenu električne konduktivnosti. Umjesto vazduha, I odgovarajući izolator može ispunjavati prostor između ploča kondenzatora, pod uslovom da vlažnost utiče na promjenu dielektrične konstante tog izolatora. Kapacitivni senzori mogu biti napravljeni I od hidroskopskog polimernog filma sa metalnim elektrodama na suprotnim stranama. Kapacitivnost svih ovih senzora je proporcionalna relativnoj vlažnosti H :

$$C_h \approx C_0(1 + \alpha_h H) \quad 2.4$$

Gdje je C_0 kapacitivnost na $H = 0$.

Vegatronix sonde spadaju u grupu kapacitivnih senzora.



Slika 2.8. Zavisnost dielektrične konstante vode od temperature

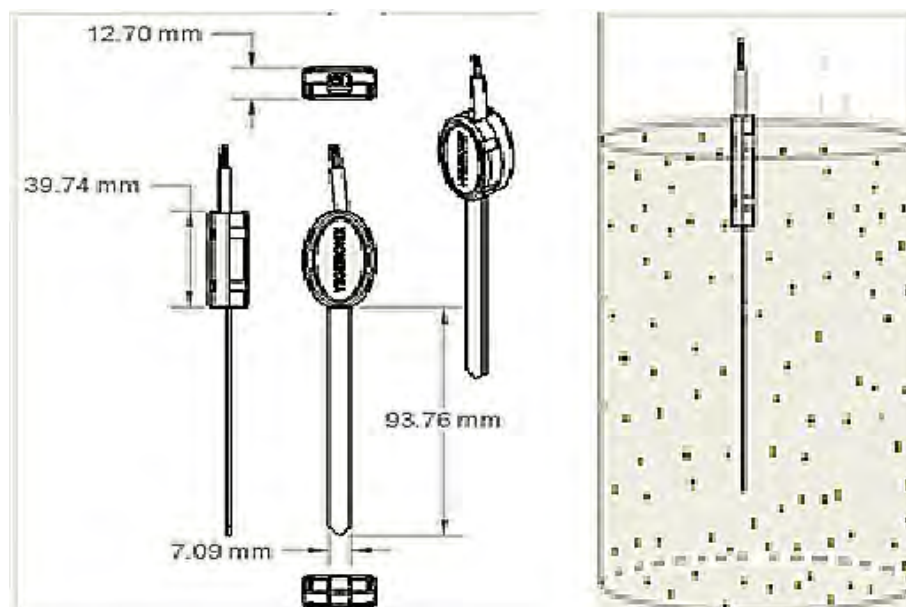
2.4. Vegatronix sonde

Za potrebe testa vertikalne infiltracije vode u pijesku obezbjeđeno je 20 sondi za mjerenje vlažnosti, 10 za mjerenje temperature i 3 logera, američkog proizvođača Vegatronix.

Vegatronix VH400 sonde pripadaju grupi kapacitivnih senzora. Zavisno od sadržaja vode u tlu, one pokazuju napon od 0 do 3 volta, 0V za potpuno suvo i 3V za potpuno zasićeno tlo. Na osnovu tih vrijednosti, korišćenjem kalibracionih krivih, datih u uputstvu za korišćenje sonde, računala se vlažnost pjeska. Kalibraciona kriva se može aproksimirati sa 4 linearne jednačine, za koje su parametri priloženi u tabeli 2.2. Sonda prikazuje osrednjenu vrijednost čitanja, pa je stoga u nehomogenim sredinama potrebno postaviti više sonde. Iz tih razloga, prilikom instalacije sonde i mjerenja vlažnosti zemljišta, bitno je da tijelo sonde bude potpuno zatrpano, u suprotnom će dobijena vrijednost vlažnosti odstupati do tačne. Na slici 2.8 je šematski prikazana sonda sa njenim dimenzijama i jedan od načina pravilnog postavljanja.

Tabela 2.2. Parametri za aproksimaciju kalibracione krive

Oblasti napona	Jednačina
Od 0 do 1.1V	$VWC = 10V - 1$
Od 1.1V do 1.3V	$VWC = 25V - 17.5$
Od 1.3V do 1.82V	$VWC = 48.08V - 47.5$
Od 1.82V do 2.2V	$VWC = 26.32V - 7.89$



Slika 2.8. Skica Vegatronix sonde sa dimenzijama i jedan od načina postavljanja u tlu

Sonde za mjerenje temperature, THERM200, imaju mjerni opseg od -40°C do 85°C . Izlazni podatak je napon, od 0V do 3V, i linearno proporcionalan temperaturi. Da bi se izračunala temperatura iz dobijenog napona, koristila se jednačina 2.5, data od strane proizvođača.

$$T = \text{napon} * 41.67 - 40 \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad 2.5$$

Način povezivanja sonde za računar preko logera prikazan je na slici 2.9. Kao što se vidi, na loger je istovremeno moguće povezati 8 sonde. Svaki kanal za povezivanje ima po 3 ulaza: za uzemljenje, za izmjereni napon i za napajanje. Za komunikaciju sa sondama i skupljanje podataka nije bila potrebna nikakva dodatna instalacija softvera. Koristio se Hyper Terminal, što je bila preporuka proizvođača, i za koji je bio dat spisak komandi. Loger ima sopstvenu memoriju za sakupljanje podataka i čuvanje podešenih parametara. Treba napomenuti da podešavanja ostaju sačuvana i kada se loger isključi sa napajanja ali da vrijeme i datum pri svakom ponovnog uključivanju treba promjeniti i ponovo podestiti, jer ostaje upamćen poslednji prikazani vremenski trenutak. Jedini parametar koji se potpuno gubi i vraća na početnu vrijednost pri gubitku napajanja je vrijednost **p [secs]**. On definiše koliko sekundi prije čitanja sonda treba da počne da se napaja strujom. To je jako bitno kod sonde za mjerenje temperature koje zbog načina rada, moraju da se napajaju strujom prije semplovanja.

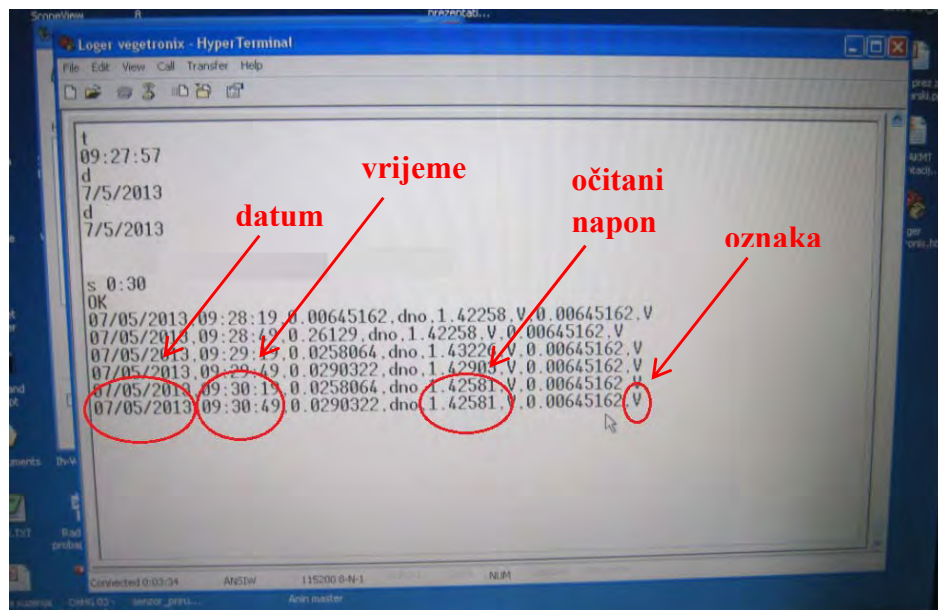


Slika 2.9. Vegetronix logger

U toku pripremnih mjerenja, kolona sa pjeskom i postavljenim sondama za vlažnost i temperaturu je nekoliko puta ostavljena da radi u toku noći. U takvim situacijama, potrebno je prethodno podesiti:

- d [DD/MM/YYYY]<CR> datum
- t[HH:MM:SS]<CR> vrijeme
- s [MM:SS]<CR> vrijeme između dva uzastopna očitavanja komandom i
- p [secs]<CR> vrijeme zagrijavanja sonde

Logger ostavljen da radi preko noći, čuva sakupljene podatke u svojoj memoriji. Prikaz sadržaja iz memorije, sakupljenih podataka počev od najstarijih do najnovijih se radi komandom get<CR>. Za ovakve i slične situacije, kada je potrebno ostaviti logger sa sondama da radi duži vremenski period, preporučljivo je napajanje preko baterije. Povezan na računar preko USBa logger se gasi kada se ugasi računar ili ode na „stand by“.



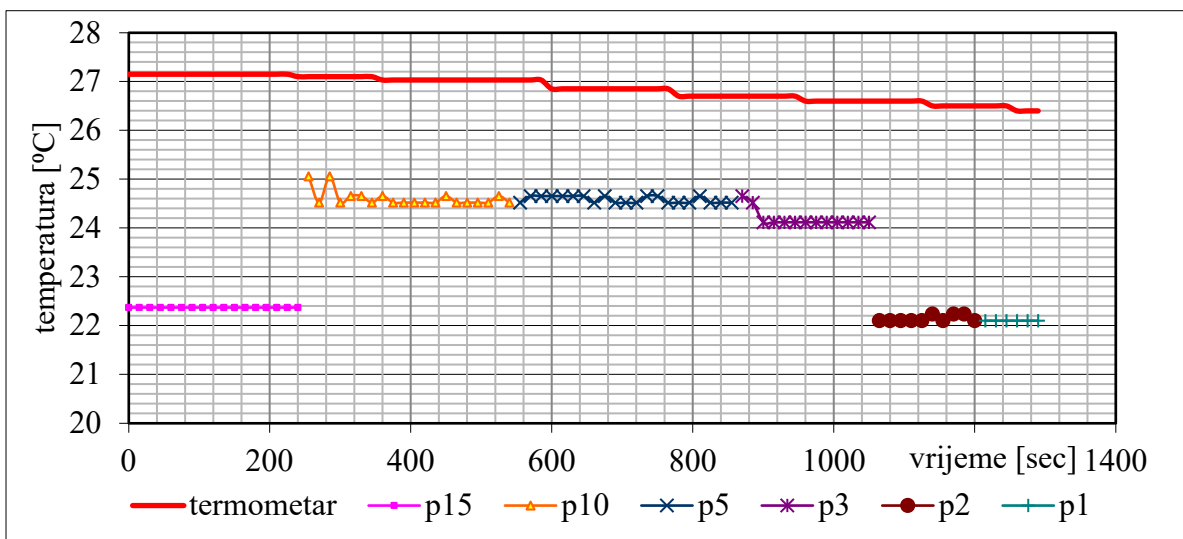
Slika 2.10. Prikaz očitanih vrijednosti napona (Hyper Terminal)

Od strane proizvođača je podešeno da se očitavanja sa svih kanala prikazuju istovremeno. Na slici 2.10 je dat primjer prikaza rezultata kada su upaljena samo 3 kanala. Radi preglednosti i lakšeg praćenja i obrade rezultata, komandom e **[Sensor index]<CR>**, je moguće ugasiti prikaz čitanja sa kanala kada oni nisu potrebni.

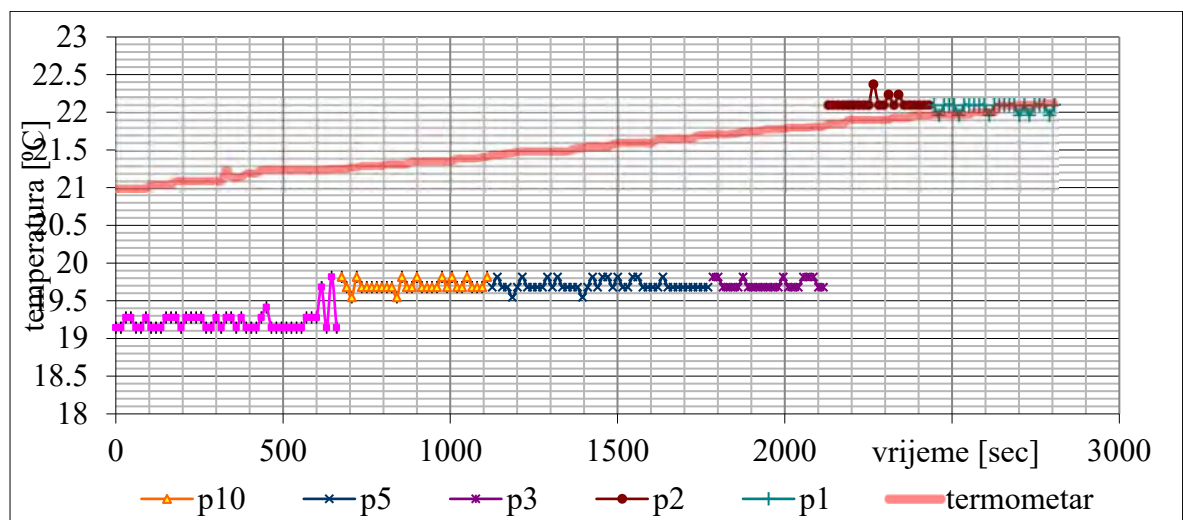
3. PRIPREME MJERENJA – PROVJERA RADA SONDI

3.1. Provjera uticaja vremena „zagrijavanja“ sonde

Zbog načina rada sonde za temperaturu, THERM200, prije očitavanja podataka potrebno je prethodno „zagrijavanje“. Pod tim se podrazumjeva da se komandom **p [sec] <CR>** definiše koliko sekundi prije semplovanja sonda počinje da se napaja strujom. U sudu sa vodom pri različitim temperaturama je ispitano minimalno vrijeme napajanja za pravilan rad sonde, i njegov uticaj na rezultate. U sud je bio postavljen i termometar sa koga su očitavane stvarne vrijednosti temperature. Na slikama su prikazani uticaji vremena napajanja za slučajeve kad temperatura opada (grafik 3.1.1.) i kad temperatura raste (grafik 3.1.2.).



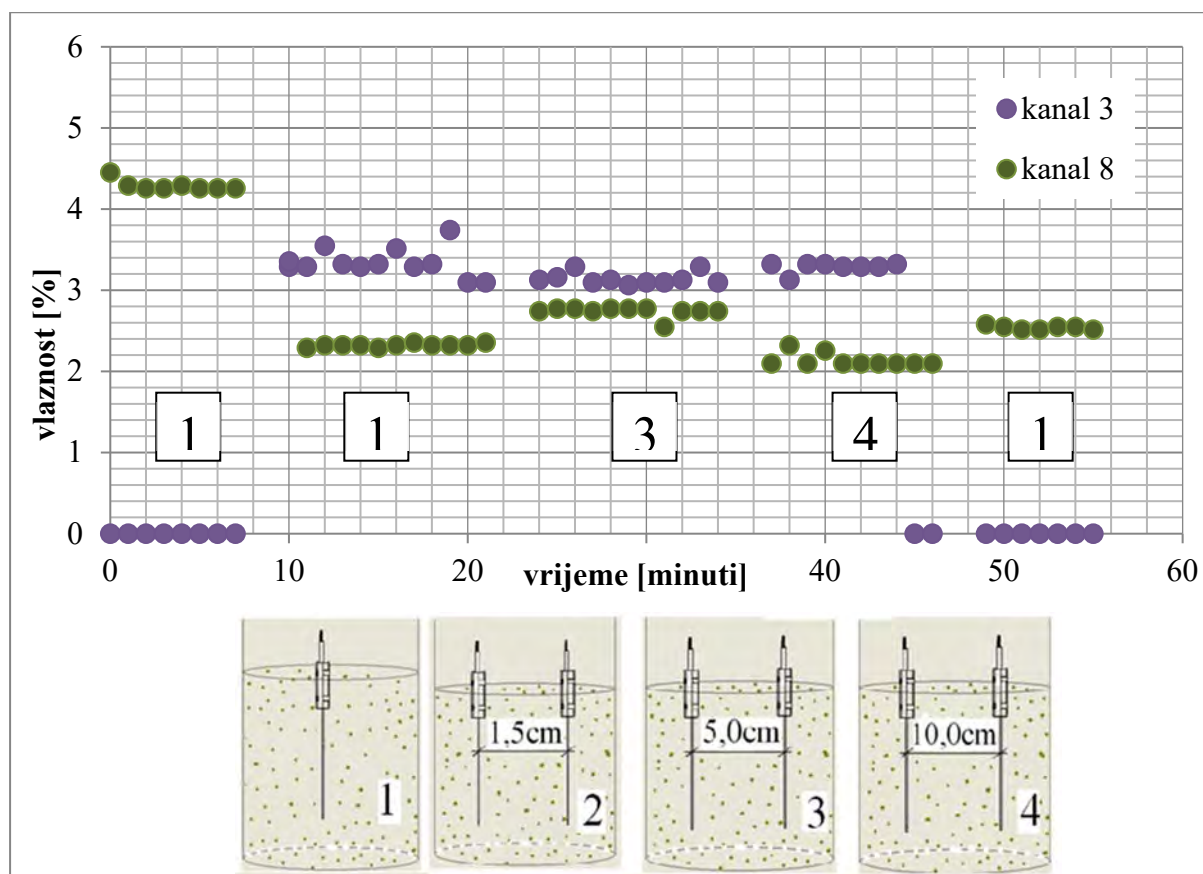
Grafik 3.1.1. Uticaj vremena „zagrijavanja“ na očitane vrijednosti i odstupanja od stvarnih vrijednosti temperature kada na opada



Grafik 3.1.2. Uticaj vremena „zagrijavanja“ na očitane vrijednosti i odstupanja od stvarnih vrijednosti temperature kada ona raste

3.2. Uticaji drugih predmeta na rad sonde i njihovi međusobni uticaji

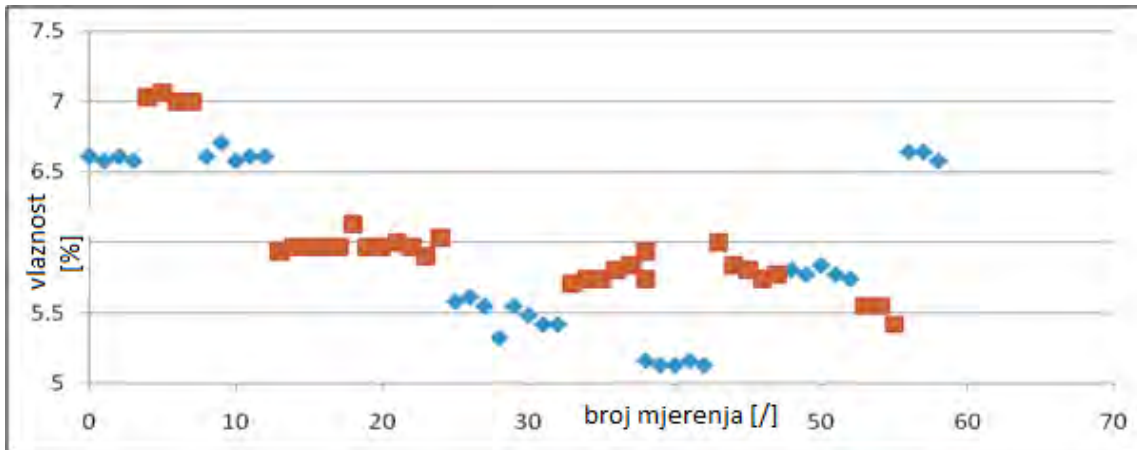
Uzimajući u obzir način rada kapacitivnih sonde, pretpostavilo se da će sonde koje se nalaze u neposrednoj blizini jedna drugoj ili u blizini nekog predmeta u zemljištu, pogotovo metala, pokazivati drugačije očitavanje vlažnosti nego kad se nalaze same u zemljištu, tj da će prisutvo drugih predmeta koji mijenjaju električna svojstva zemljišta uticati na njihovu tačnost. Na grafiku 3.2.1. su prikazani rezultati dobijeni ispitivanjem međusobnog uticaja dvije sonde koje se nalaze na udaljenosti 1,5 cm, 5 cm i 10 cm.



Grafik 3.2.1. Uticaj sonde jedne na drugu kada se nalaze u međusobnoj blizini

3.3. Provjera ponovljivosti mjerenja

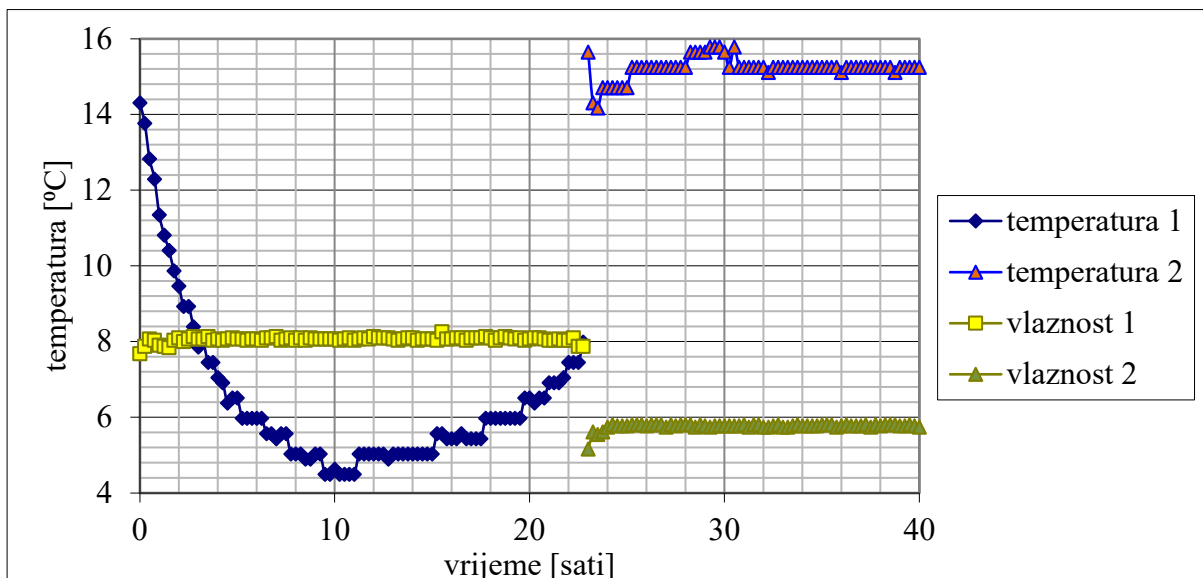
U svrhu provjere ponovljivosti mjerenja korišćena je jedna sonda koja je nakon svake serije od po 5 očitanih vrijednosti vađena iz uzorka pjeska i ponovo stavljana, pri čemu se jako puno vodilo računa o načinu ugradnje. Pri svakom vađenju i/ili najmanjem pomjeranju sonde, dolazilo je do znatnih promjena rasporeda vlažnosti okolnog pjeska. Rezulati su prikazani na grafiku 3.3.1. .



Grafik 3.3.1. Rezultati testa ponovljivosti mjerenja

3.4. Provjera uticaja temperature

S obzirom na princip rada sonde za mjerenje vlažnosti zemljišta, zasnovan na mjerenju kapacitivnosti zemljišta, koja zavisi i od temperature, čije promjena utiče na promjenu dielektrične konstante, pretpostavljeno je da će se za iste vrijednosti vlažnosti javiti drugačija čitanja napona pri različitim temperaturama. Urađen je eksperiment uticaja promjene temperature na očitano vrijednost napona, tj. promjena napona po C° u istim uslovima vlažnosti. U svrhu ovog dijela eksperimenta, jedna sonda za temperaturu i jedna sonda za vlažnost su stavljene u pijeskom napunjenu posudu za kalibraciju. Posuda je pokrivena najlonom, da ne bi doslo do isparavanja vode iz pijeska, i stavljena kraj otvorenog prozora kako bi se u toku noći temperatura primjetno smanjila (na grafiku temperatura 1 i vlažnost 1). Sledeće noći je posuda ostavljena u zatvorenoj prostoriji, gdje je došlo do temperaturnih promjena ali pri znatno većim vrijednostima (na grafiku krive temperatura 2 i vlažnost 2).

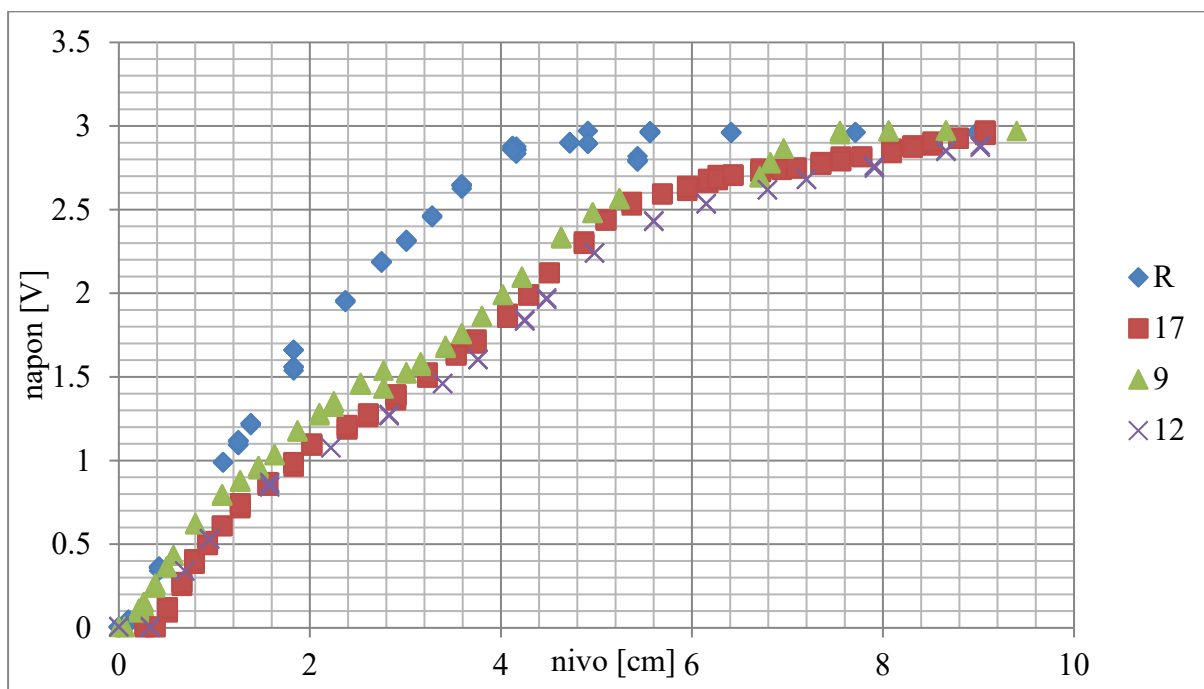


Grafik 3.4.1. Rezultati testa uticaja promjene temperature na promjenu mjerenja vlažnosti

Nakon sakupljenih i obrađenih podataka, prikazanih na grafiku, zaključeno je da je pretpostavka pogrešna, da promjena temperature ne utiče na vrijednosti izlaznog napona pri istim uslovima, što je bila i napomena proizvođača.

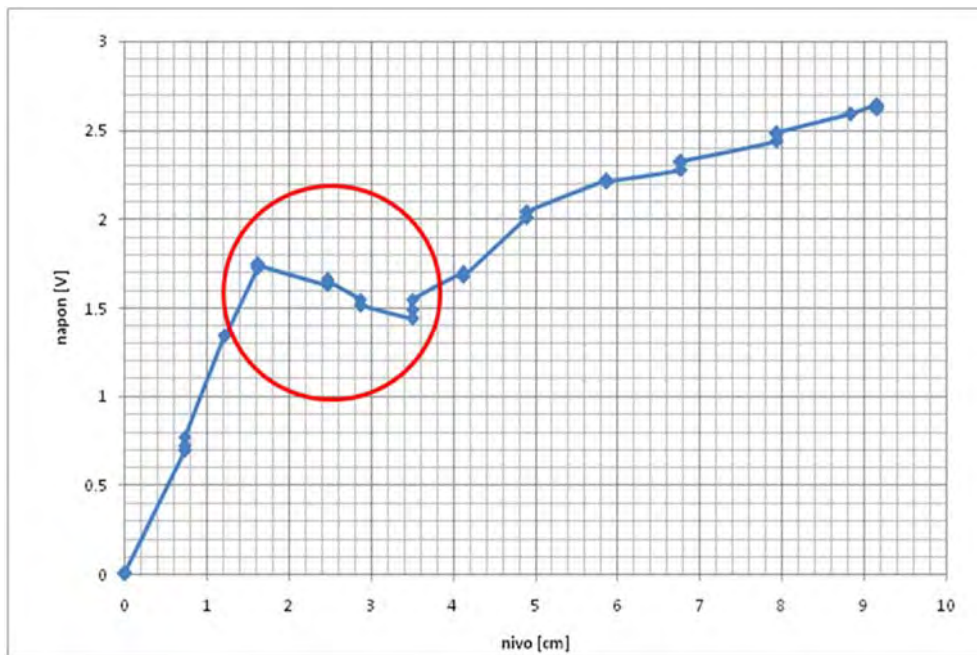
3.5. Mjerenje nivoa vode pomoću Vegatronix sonde za mjerenje vlažnosti

Princip rada mnogih kapacitivnih sonde za mjerenje vlažnosti omogućava njihovu upotrebu i za mjerenje nivoa, što je jedna od mogućnosti Vegatronix sonde za čiju upotrebu u ovakve svrhe su od strane proizvođača date i kalibracione krive nivoa. Jedno od pitanja u ovom djelu eksperimenta je bila mogućnost dobijanja kalibracione krive vlažnosti pomoću mjerenja nivoa, tj. da li je proizvođač usvojio ovu mogućnost bez prethodnog provjeravanja. Rezultati zavisnosti nivoa i napona za 4 provjeravane sonde su prikazani na sledećem grafiku.



Grafik 3.5.1. Prikaz zavisnosti izmjerene napona i potopljenosti sonde u vodu, tj. Nivoa

Jedna od ispitivanih sonde (sonda 17) je nakon 15 sati ponovo vraćena u vodi da bi se izmjerio nivo. Važno je napomenuti da je sonda svih 15 sati stajala u vodi i prije ponovnog mjerenja samo površinski osušena. Tada je došlo do pojave opadanja napona iako je sonda sve dublje potapana. Jedino objašnjenje za ovu pojavu je bila mogućnost da je došlo do skupljanja vode u sondi zbog njenog lošeg kvaliteta, i da je onda uporedo sa potapanjem sonde došlo i do njenog sušenja, pa je umjesto da napon raste on opadao. Tada dobijena kriva zavisnosti napona i nivoa je prikazana na grafiku 3.5.1.

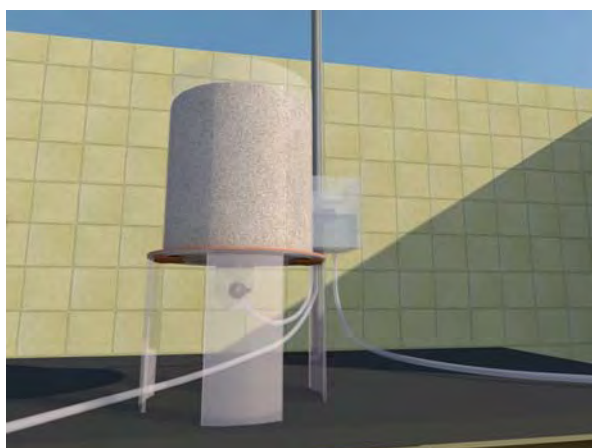


Grafik 3.5.1. Kriva zavisnosti napona I nivoa u slučaju nakupljanja vode u sondi

4. MJERNA INSTALACIJA I METODE MJERENJA

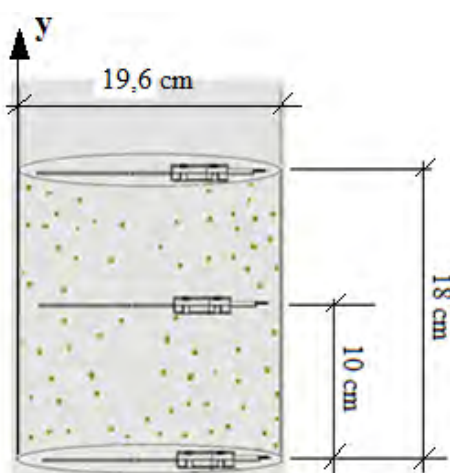
4.1. Opis laboratorijske instalacije za mjerenje vlažnosti i metode mjerenja

Cilj fizičkog dijela eksperimenta je bio da se laboratorijski izmjere vertikalne promjene vlažnosti u sloju pjeska iznad slobodne površine vode. Posmatrana je brzina kretanja vlažnog fronta u toku vremena. To je urađeno pomoću kapacitivnih Vegatronix sonde, koje su podešavanjem čitanja na jako kratke vremenske intervale, dale skoro kontinualan prikaz promjena. Model laboratorijske instalacije je prikazan na slici 4.1.



Slika 4.1. Model laboratorijske instalacije za mjerenje infiltracije

Fizički dio eksperimenta rađen je u koloni prečnika 196 mm i visine 200 mm, napravljenoj u ove svrhe, korišćenjem 3 sonde postavljene horizontalno u kolonu sa pjeskom, jedna na dnu, druga na sredini, na 10 cm od dna kolone, i treća na površini pjeska, 18cm od dna, kao što je prikazano na slici 4.2.



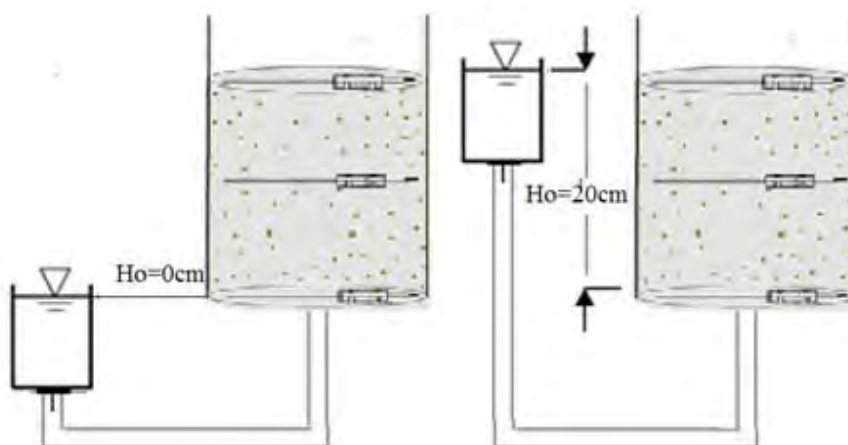
Slika 4.2. Položaj sonde u koloni sa pjeskom

Na dnu kolone se nalazi otvor sa mehaničkim zatvaračem. U kolonu je sipan pijesak preko tankog filtera koji je sprečavao ispiranje čestica kroz otvor na dnu. Sloj pijeska je iznosio 20 centimetara. Voda je u kolonu dovođena preko preliva kroz otvor na dnu, čime se postigla potpuna ispunjenost svih pora vodom i istiskivanje vazduha iz njih. Preliv je bio postavljen pored sonde, tako povezan da je bilo moguće njegovo vertikalno pomjeranje. U zavisnosti od položaja nivoa vode u prelivu i dna kolone, kontrolisani su uslovi usled kojih je dolazilo do infiltracije vode u pijesku.

Kao što je prethodno pomenuto, eksperiment je rađen za dva pjeska različitih frakcija, sitniji i krupniji. Prvo su uzete vrijednosti napona sa sonde u potpuno suvom pjesku, na osnovu čega je izračunata vlažnost prirodno suvog pjeska. Za kalibraciju sonde korišćene su kalibracione krive date od strane proizvođača. Zatim su očitavane vrijednosti po slojevima u toku vremena u dvije faze:

1. kada je nivo na prelivu bio na istoj visini kao i dno kolone
2. kada je nivo na prelivu bio na istoj visini kao i gornja površina pjeska

U prvoj fazi, do vertikalnog kretanja vlažnog fronta došlo je usled djelovanja kapilarnih sila u pjesku, čime je zabilježena brzina kapilarnog penjanja. Druga faza eksperimenta je počela kada je prestalo kapilarno penjanje, tj kad je primjećeno da sonde više ne registruju nikakve promjene vlažnosti. Preliv je podignut toliko da je nivo vode u prelivu bio na 20cm od dna kolone. Tada je do povećanja vlažnosti došlo usled razlike potencijala na površini vlažnog fronta i potencijala na prelivu. Na slici 4.3 su prikazani položaji preliva u odnosu na kolonu sa pjeskom u fazama ekperimenta.



Slika 4.3. Položaj preliva u odnosu na kolonu sa pjeskom za prvu (lijevo) i drugu (desno) fazu eksperimenta

Osim indirektno metode mjerenja vlažnosti korišćenjem sonde, u svrhe fizičkog dijela ekperimenta, vlažnost je mjerena direktnom metodom sušenja uzoraka u pećima. Ovo je urađeno za potpuno suv i potpuno natopljen pijesak. Prije početka dovođenja vode i nakon

potpunog kvašenja, iz kolone su uzimana po 3 uzorka pijeska metalnim činjama koje su zatim stavljane u peć. Prije stavljanja uzoraka u peć, na digitalnoj vagi je izmjerena težina praznih činija i činija sa uzorcima pjeska iz kolone. Uzorci su se u peći sušili na 120°C do konstantne mase, a zatim ponovo izmjerili na vagi. Vlažnost uzetih uzoraka je dobijena korišćenjem formule 4.1.

$$\omega = \frac{m_{vl} - m_s}{m_s - m_{sud}} \cdot 100\% \quad 4.1.$$

Gdje su:

m_{vl} - težina vlažnog (prirodnog) uzorka sa posudom

m_s - težina uzorka nakon sušenja sa posudom

m_{sud} - težina suda

ω - vlažnost uzorka izražena u procentima

Vlažnost pijeska dobijena sušenjem uzoraka u pećima, je kasnije upotrebljena za korekciju vrijednosti dobijenih čitanjem sa sonde.

4.2. Rezultati mjerenja vlažnosti i obrada rezultata

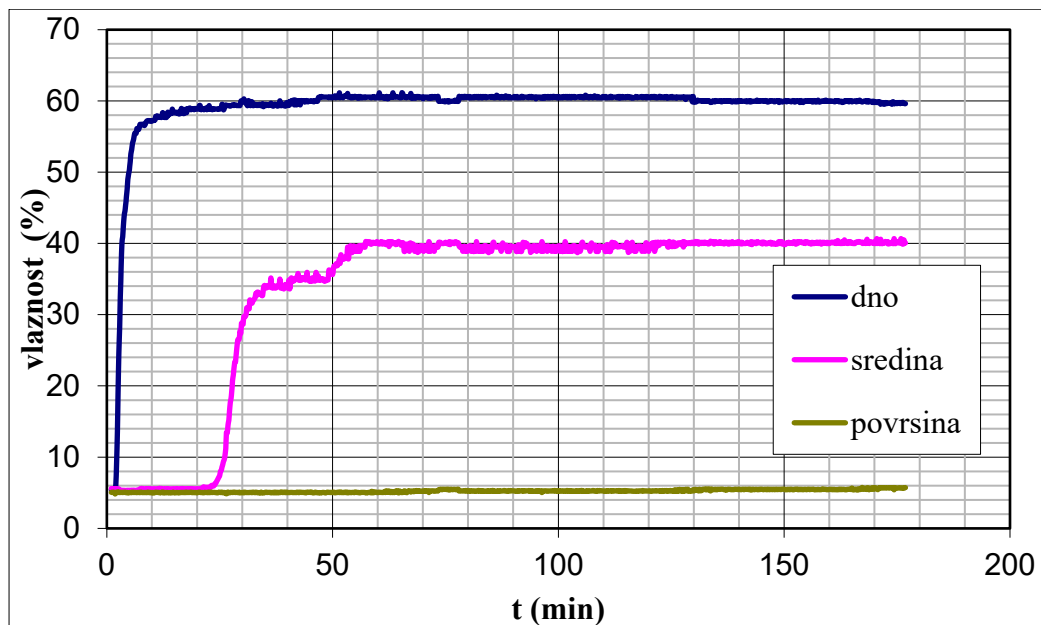
4.2.1. Sitan pijesak

Mjerenjem vlažnosti suvog pjeska, metodom sušenja uzoraka u peći, dobijena je vrijednost 0.31% vlažnosti. U tabeli 4.2.1 su prikazane vrijednosti očitanih napona kada su sonde stavljene u suvi pijesak.

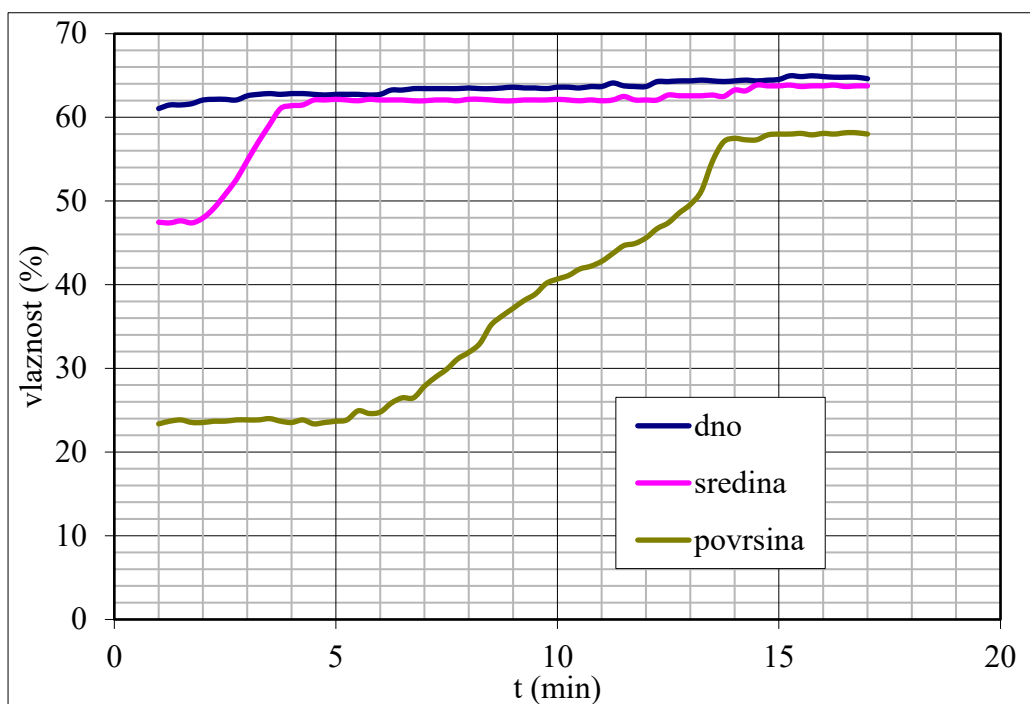
Tabela 4.2.1. Vrijednosti napona na sondama u suvom pjesku

dno		sredina		povrsina	
napon	vлага	napon	vлага	napon	vлага
0.645161	5.452	0.66129	5.613	0.606452	5.065

Dobijena čitanja napona sa 3 sonde postavljene u pijesak su dalje obrađena korišćenjem kalibracionih krivih datih od strane proizvođača. Na graficima 4.2.1 i 4.2.2 su prikazane vrijednosti vlažnosti u toku vremena, dobijene na ovaj način.



Grafik 4.2.1. Vlažnost pijesaka dobijena čitanjem sa sonde pri kapilarnom penajnju (prva faza eksperimenta)



Grafik 4.2.2. Vlažnost pijesaka dobijena čitanjem sa sonde pri povećanju vlažnosti usled razlike potencijala (druga faza eksperimenta)

Nakon druge faze testa uzeti su uzorci potpuno natopljenog pjeska. Mjerenjem vlažnosti ovih uzoraka metodom sušenja u peći dobijena je vrijednost od 18.01% vlažnosti.

Tabela 4.2.2. Odstupanja vrijednosti dobijenih čitanjem sa sonde od vrijednosti vlažnosti dobijene sušenjem uzoraka

položaj sonde	dno	sredina	površina
odstupanje	46.61	45.76	39.99

Iz tabele 4.2.2 se vidi da je odstupanje vrijednosti dobijenih obradom čitanja sa sonde od onih koje su dobijene sušenjem uzoraka jako veliko. Urađena je korekcija vrijednosti, za svaku sondu posebno, na sledeći način:

$$w'_s = w_s \cdot \frac{w_{s.u.}}{w_s^{zadnje}} \quad 4.2$$

Gdje su:

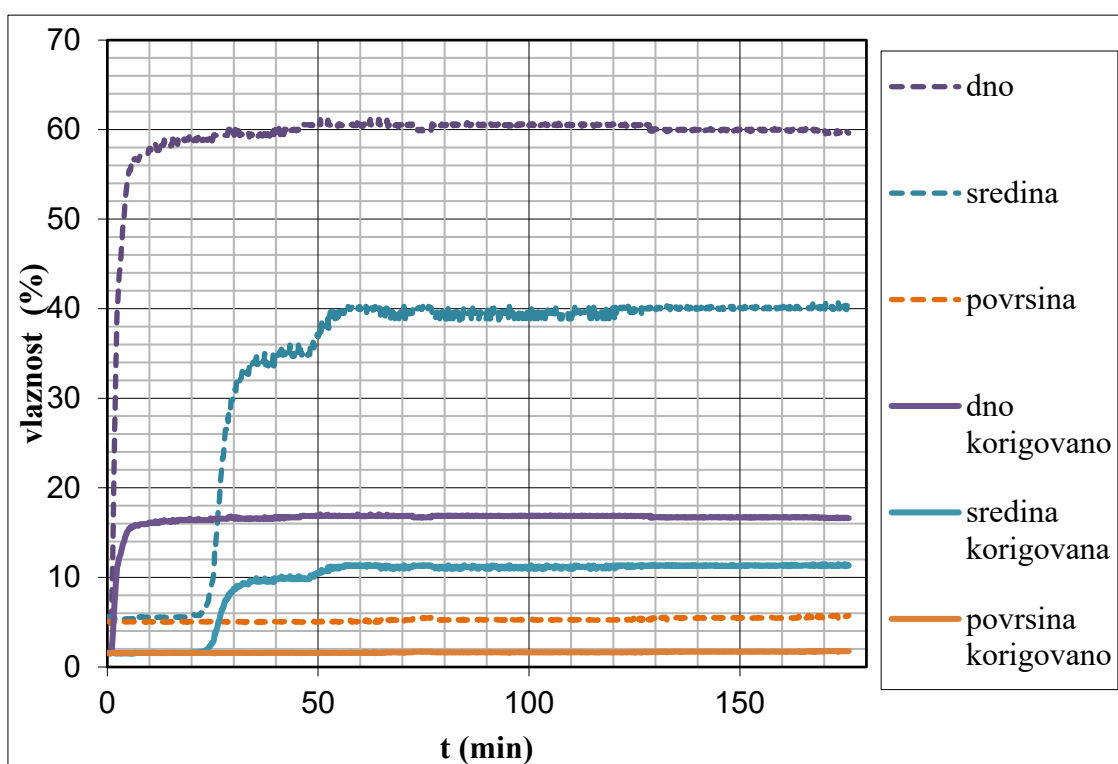
w'_s - korigovana vrijednost

w_s - vrijednost vlažnosti dobijena čitanjem sa sonde

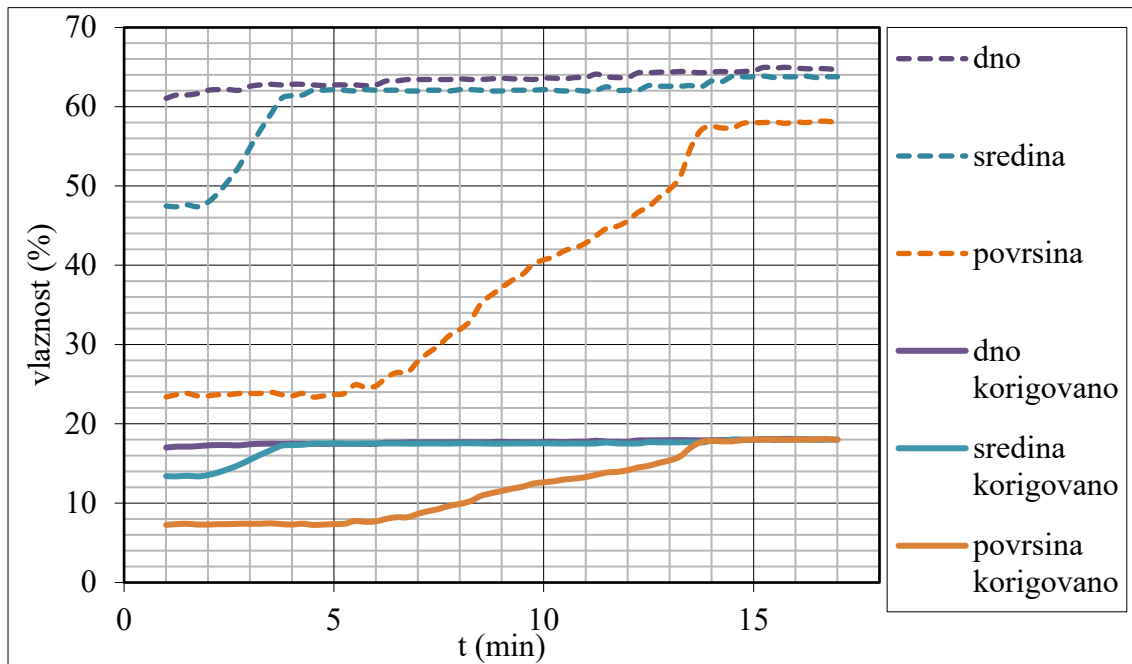
w_s^{zadnje} - vrijednost vlažnosti dobijena zadnjim čitanjem sa sonde u potpuno zasićenom pjesku

$w_{s.u.}$ - vrijednost dobijena sušenjem uzoraka potpuno zasićenog pjeska

Na graficima 4.2.3 i 4.2.4 su prikazane i upoređene vrijednosti dobijene čitanjem sa sonde i korigovane vrijednosti korišćenjem izraza 4.2 .

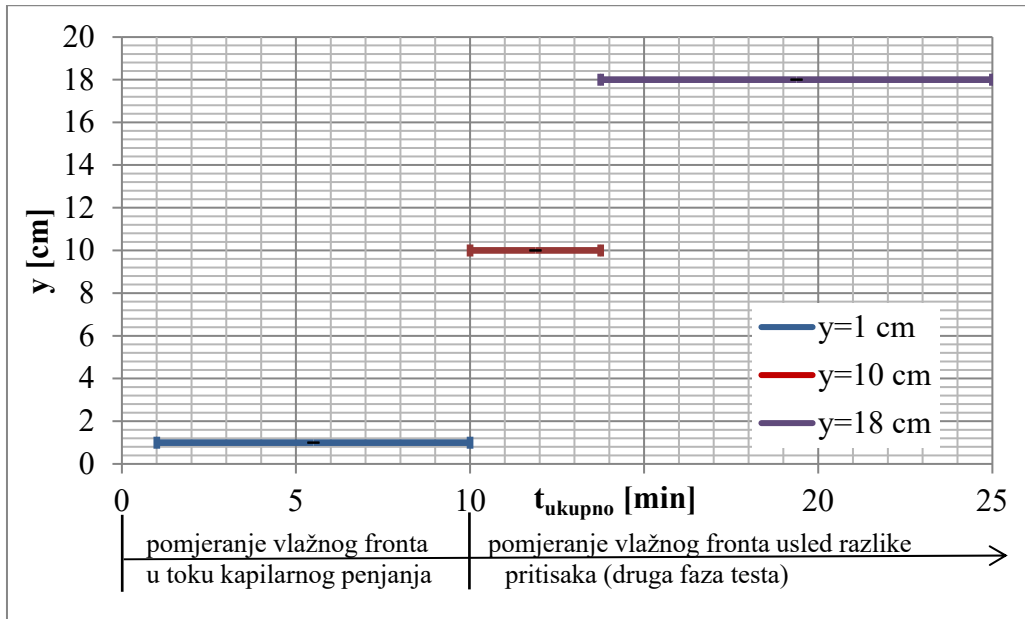


Grafik 4.2.3. Prikaz korigovanih vrijednosti I vrijednosti vlažnosti dobijenih čitanjem sa sonde pri kapilarnom penajnju (prva faza eksperimenta)



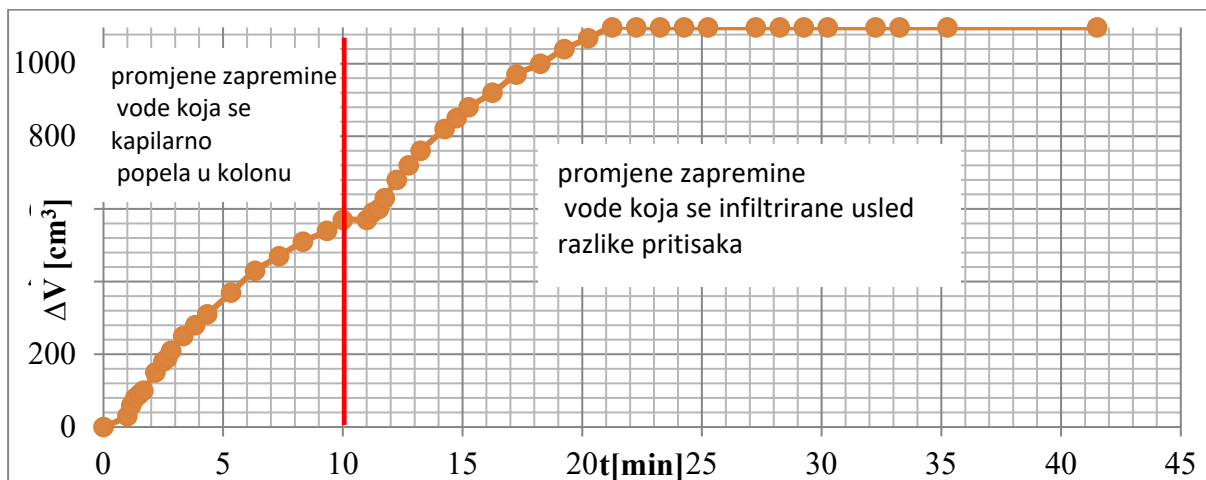
Grafik 4.2.4. Prikaz vrijednosti vlažnosti dobijenih čitanjem sa sonde I njihovih korigovanih vrijednosti pri povećanju vlažnosti usled razlike potencijala (druga faza eksperimenta)

Posmatranjem grafika 4.2.3 i 4.2.4 primjećeno da vlažni front nije tačno definisan, kao što se i očekivalo, i da je dostizanje maksimalne vlažnosti postepeno. Na grafiku 4.2.5 su prikazane vremenske granice kada je vlažni front prolazio pored sonde. Ove vrijednosti su dobijene na osnovu korigovanih vrijednosti vlažnosti, očitanih sa sonde. Onaj trenutak kada je primjećena prva promjena napona (vlažnosti) uzet je za donju vremensku granicu. Gornja vremenska granica pretstavlja trenutak dostizanja maksimalne vlažnosti. Pored sonde koja je stajala na 1 cm od dna, vlažni front je prošao u toku prve faze ekperimenta, pri kapilarnom penjanju. Sloj pijeska iznad fronta je bio djelimično ispunjen vodom. Prolazak fronta do površine pijeska, pored sonde postavljenih na 10 cm i 18 cm, desio se tek nakon podizanja preliva za 20 cm, u drugoj fazi testa.



Grafik 4.2.5. Granice prolaska vlažnog fronta pored sonde u sitnom pjesku

Na grafiku 4.2.6 su prikazane promjene ukupne zapremine vode u koloni sa pijeskom u toku pomjeranja vlažnog fronta, u prvo i u drugoj fazi testa. Ove vrijednosti su izmjerene na osnovu očitanih promjena težine kolone.



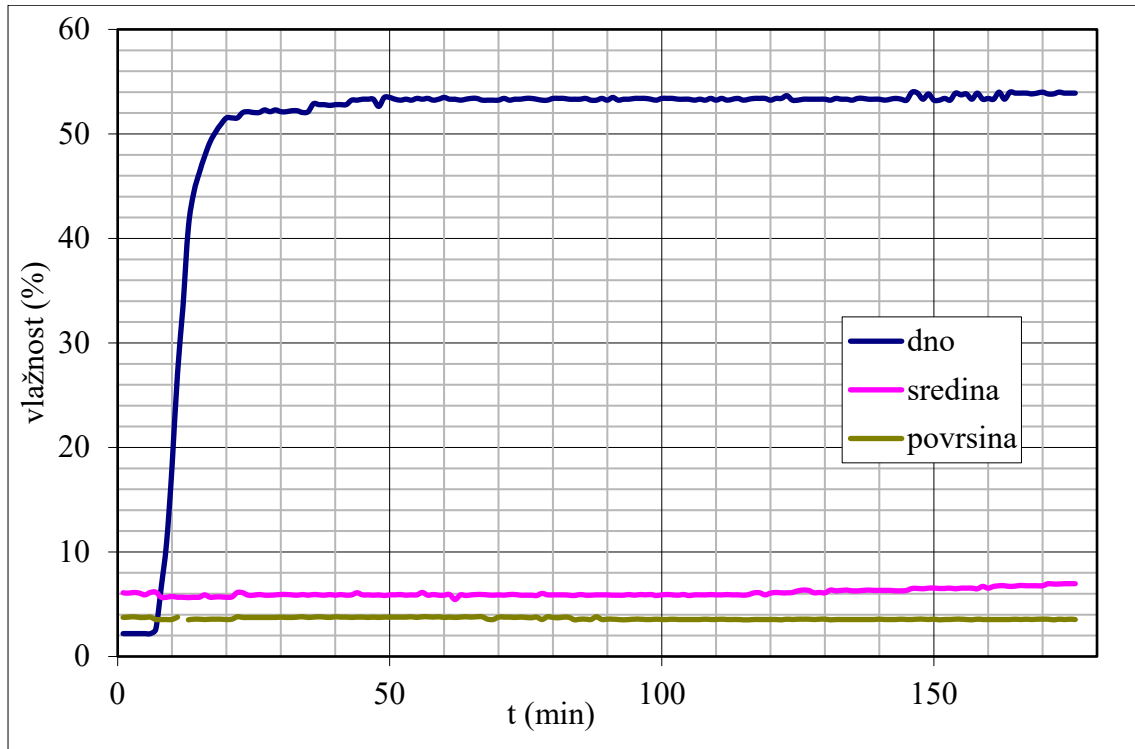
Grafik 4.2.6. Promjene ukupne zapremine vode u koloni sa pijeskom u toku podizanja vlažnog fronta

4.2.2. Krupan pijesak

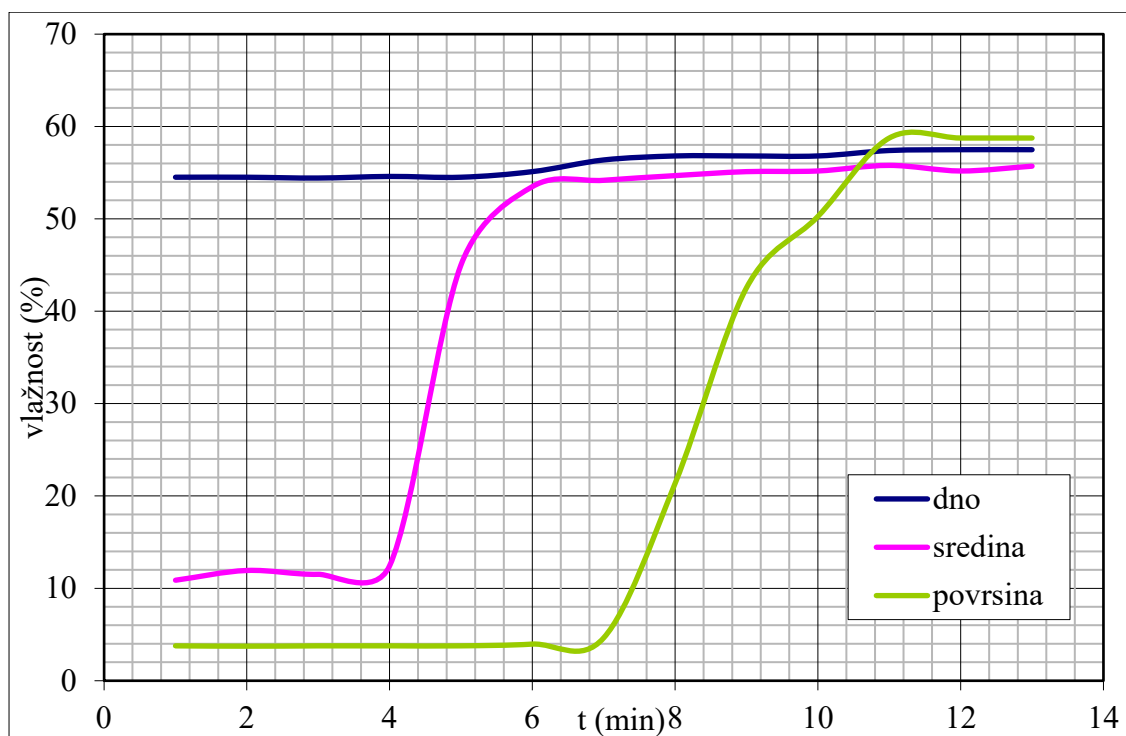
Kao i kod pjeska sitnije granulacije, pred početak dovoda vode u kolonu, uzeti su uzorci suvog pjeska i vlažnost dobijena metodom sušenja u pećima je iznosila 0.1%. Vrijednosti napona na sondama u suvom pjesku prikazane su u tabeli 4.2.3. Promjene vlažnosti usled kapilarnog penjanja prikazane su na grafiku 4.2.6, a usled razlike pritiska na grafiku 4.2.7. Kao i kod pjeska sitnije granulacije, očitavanja napona sa sonde su dalje obrađena pomoću kalibracionih krivih datih od strane proizvođača.

Tabela 4.2.3. Vrijednosti napona na sondama u suvom pjesku

dno		sredina		povrsina	
napon	vlaga	napon	vlaga	napon	vlaga
0.319355	2.19355	0.709677	6.09677	0.474194	3.74194



Grafik 4.2.6. Vlažnost pijesaka dobijena čitanjem sa sonde pri kapilarnom penajnju (prva faza eksperimenta)

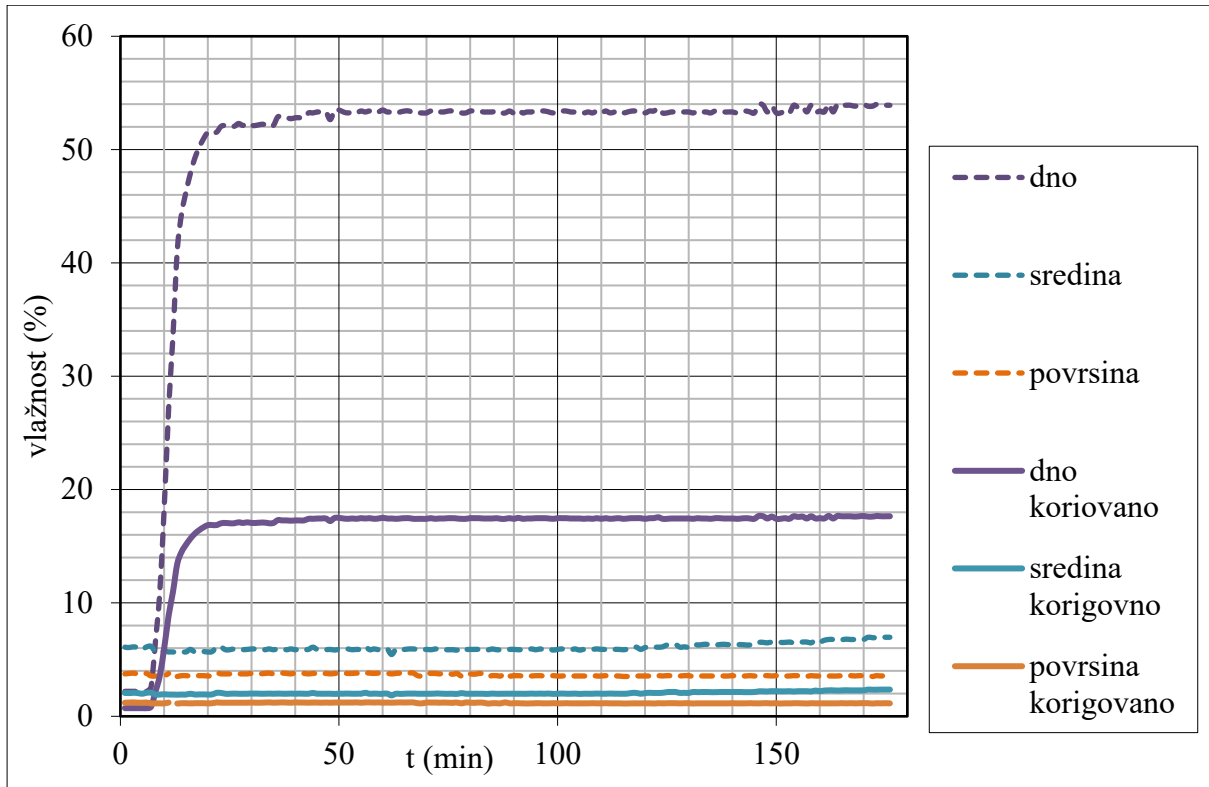


Grafik 4.2.7. Vlažnost pijesaka dobijena čitanjem sa sonde pri povećanju vlažnosti usled razlike potencijala (druga faza eksperimenta)

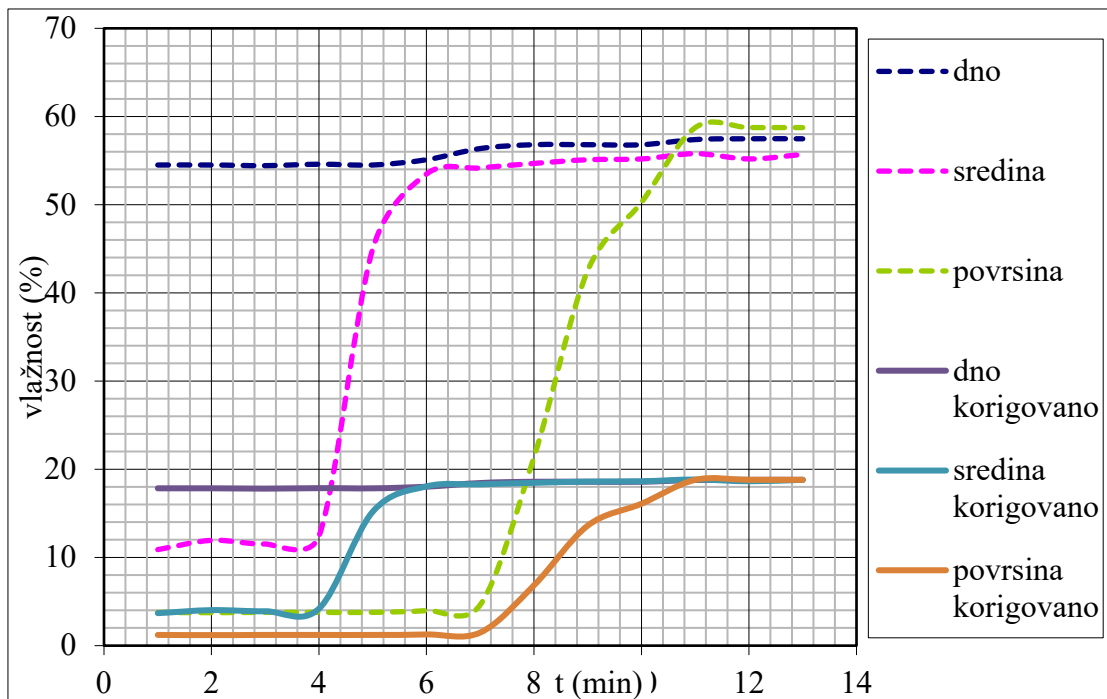
Vlažnost potpuno natopljenog pjeska, dobijena metodom sušenja uzoraka, iznosi 18.81%. Ova vrijednost je upoređena sa vlažnostima dobijenim čitanjem sa sonde, i njihove razlike su prikazane u tabeli 4.2.4. Dalja obrada i korekcija očitanih vlažnosti urađena je na isti način kao i kod sitnijeg pjeska. Rezultati su prikazani na graficima 4.2.8 i 4.2.9.

Tabela 4.2.4. Odstupanja vrijednosti dobijenih čitanjem sa sonde od vrijednosti vlažnosti dobijene sušenjem uzoraka

položaj sonde	dno	sredina	površina
odstupanje	38.68	36.89	39.95

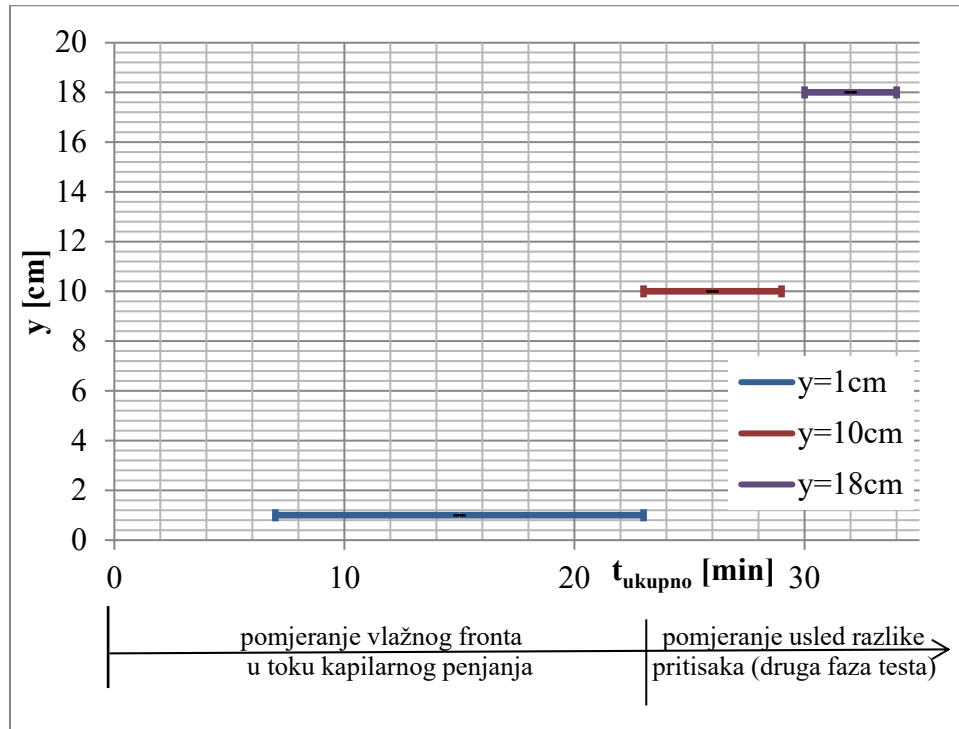


Grafik 4.2.8. Prikaz korigovanih vrijednosti I vrijednosti vlažnosti dobijenih čitanjem sa sonde pri kapilarnom penajnju (prva faza eksperimenta)



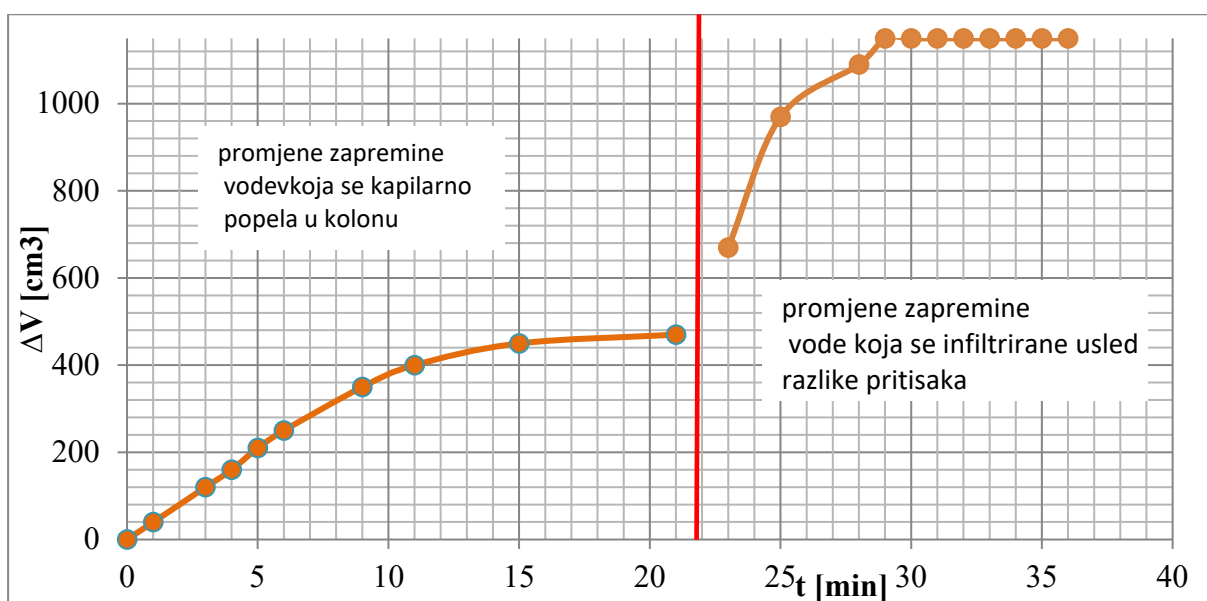
Grafik 4.2.9 Prikaz korigovanih vrijednosti I vrijednosti promjene vlažnosti dobijenih čitanjem sa sonde usled razlike potencijala (druga faza eksperimenta)

Na grafiku 4.2.10 su prikazane granice prolaska vlažnog fronta pored sonde. Vrijednosti su dobijene pomoću očitanih vrijednosti napona i vlažnosti sa postavljenih sonde. Postupak je bio isti kao i za sitni pijesak.



Grafik 4.2.10. Granice prolaska vlažnog fronta pored sonde

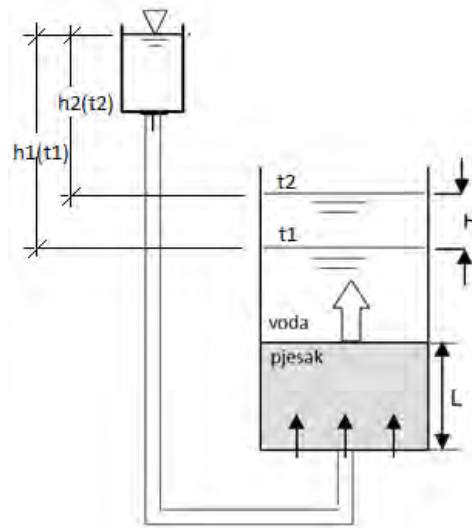
Na grafiku 4.2.11 su prikazane promjene ukupne zapremine vode u koloni sa krupnijim pijeskom u toku podizanja vlažnog fronta.



Grafik 4.2.11. Promjene ukupne zapremine vode u koloni sa krupnijim pijeskom

4.3. Određivanje koeficijenta infiltracije, metod i rezultati

Koeficijent infiltracije je geomehnička karakteristika koja opisuje propustljivost tla i ima dimenziju brzine. Određuje se eksperimentalno posebno za svako tlo jer je funkcija za njegovo izračunavanje jako složena. Na slici 4.4. je prikazana skica moguće instalacije za njegovo eksperimentalno određivanje.



Slika 4.4. Skica darsijevog aparata sa promjenljivim nivoom

Za potrebe računskog modela infiltracije, metodom Green Ampta, koeficijent infiltracije ispitivanog pijeska, k , je dobijen laboratorijski. Najprije je u kolonu nasut suvi pijesak koji se zatim, slobodnom infiltracijom uz pomoć preliva, punio vodom do potpunog zasićenja. Kada je nivo vode u koloni sa pijeskom postao isti kao i nivo na prelivu, tj. uspostavljeno ravnotežno stanje, preliv je naglo podignut na višu kotu, čime je došlo do podizanja nivoa u koloni. Uz pomoć štoperice je mjereno proteklo vrijeme, Δt , između dva uzastopna položaja nivoa, tj. razlike nivoa vode u koloni i nivoa na prelivu, $h(t)$. Na osnovu zabilježenih promjena nivoa sračunat je koeficijent filtracije uz pomoć formule Darsijevog zakona (4.3.).

$$Q = -k \frac{\Delta \Pi}{\Delta L} A = -k \frac{H}{L} A \quad 4.3.$$

Gdje je

H - razlika Π kota u vremenskim trenucima t_1 i t_2

A – površina poprečnog presjeka kolone

$$A = \frac{D^2 \pi}{4} = \frac{18.6^2 \pi}{4} = 271.58 \text{ cm}^2 \quad 4.5.$$

L – debljina sloja pijeska kroz koji se voda infiltrira

Q - brzina infiltracije

Jednačina održanja mase u ovom slučaju bi izgledala

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A \cdot dH}{dt} \quad 4.6$$

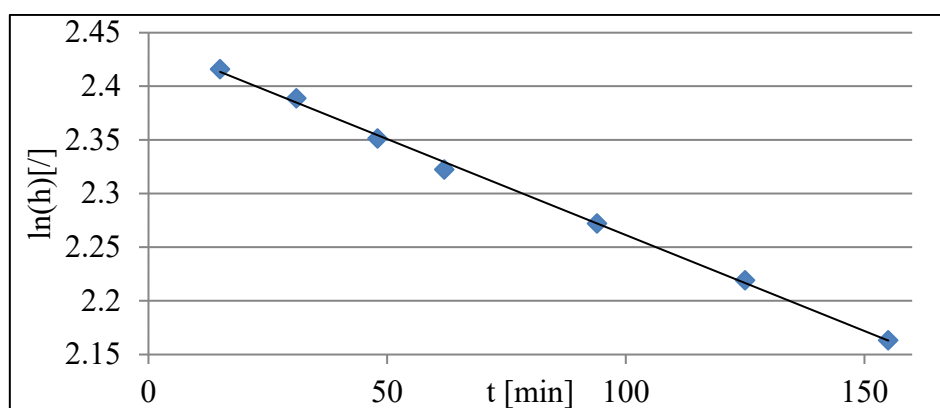
Kada se izjednače Darsijeva jednačina i jednačina kontinuiteta, dobija se:

$$\frac{dH}{dt} = -k \frac{H}{L} A \quad 4.7$$

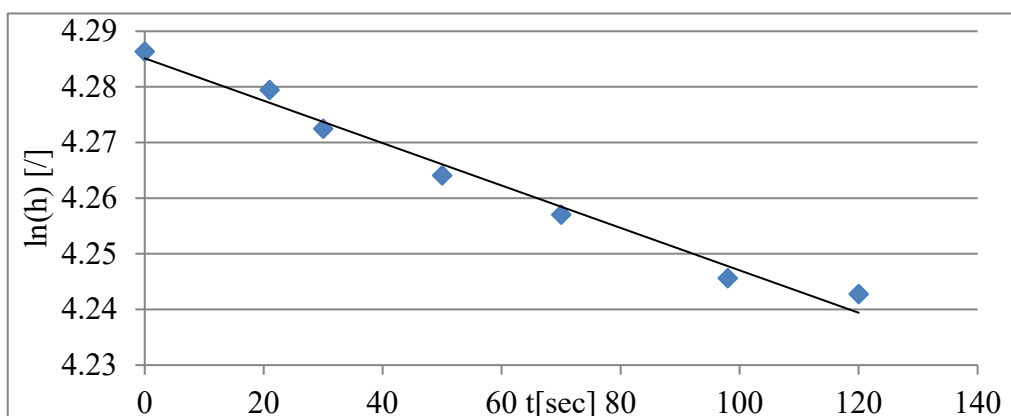
Integraljenjem se dobija:

$$\ln(H) = -k \frac{t}{L} \quad 4.8$$

Iz poslednje jednačine se vidi da je $\ln(H)$ linearno zavistan od vremena t . Gdje nagib prave predstavlja koeficijent filtracije k . Jednačina 4.8 primjenjena na laboratorijski dobijene rezultate, za krupan i sitan pijesak, prikazana je na graficima 4.3.1 i 4.3.2.



Grafik 4.3.1. Linearna zavisnost $\ln(h)$ i vremena infiltracije za krupan pijesak



Grafik 4.3.1. Linearna zavisnost $\ln(h)$ i vremena infiltracije za sitan pijesak

Iz jednačine 4.8 se može izraziti jednačina za proračun koeficijenta infiltracije:

$$k = \frac{\Delta L}{t_2 - t_1} \ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right) \quad 4.9$$

Rezultati proračuna prikazani su u tabelama 4.3.1 i 4.3.2.

Tabela 4.3.1. Parametri za proračun koeficijenta infiltracije
krupnog pijeska i rezultat

dno perliva	312.5	cm
dubina	1.7	cm
nivo u perlivu	314.2	cm
dL	12	cm
k	18.9	m/dan

Tabela 4.3.2. Parametri za proračun koeficijenta infiltracije
sitnog pijeska i rezultat

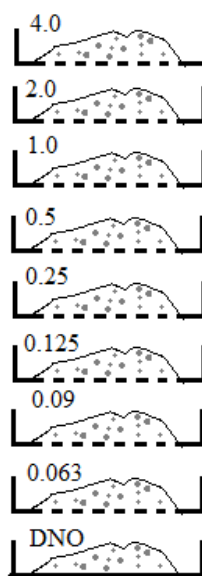
dno perliva	375.1	cm
dubina	2.1	cm
nivo u perlivu	377.2	cm
dL	10.3	cm
k	3.23	m/dan

4.4. Ispitivanje granulometrijskog sastava pijeska

Granulometrijski sastav nekog materijala predstavlja procentualnu zastupljenost zrna različitih prečnika. Kod ispitivanja vlažnosti pijeska ovo je jako bitna karakteristika. Veličina zrna utiče na veličinu i raspored pora, pa time i na kapilarne sile u porama usled kojih dolazi do vertikalnog kretanja vode. Ispitivanje granulometrijskog sastava pijeska, korišćenog u eksperimentu infiltracije, urađeno je u laboratoriji za materijale, građevinskog fakulteta, metodom suvo gprosijavanja.

U laboratoriji je postavljena serija sita, kao što je prikazano na slici 4.5, sa kvadratnim otvorima u mm: 0.063, 0.09, 0.125, 0.5, 1.0, 2.0 i 4.0. Prosijavanje je urađeno mehanički. Na ram treskalice se prvo postavi dno, na njega sito sa najmanjim otvorom (0.063mm), pa onda

redom, sa sve većim i većim otvorom. Kroz sita su prosijavani uzorci prethodno osušenog pijeskaa zatim je mjerena težina djelimičnih ostataka na svakom situ i na dnu. Prvobitna ukupna težina uzoraka je iznosila 1000g. Sve količine se kasnije izražavaju u odnosu na prvobitnu težinu uzorka. U tabeli 4.4.1 su prikazane izmjerene težine ostataka i procentualni prolazi kroz sito.

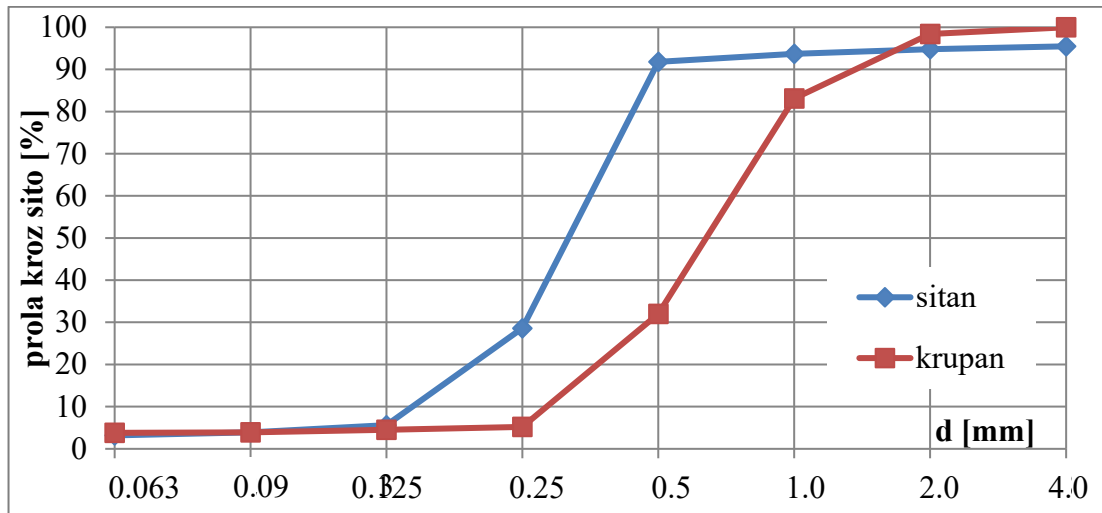


Slika 4.5. Raspored sita zavisno od veličine otvora rešetke

Tabela 4.4.1. Rezultati prosijavanja uzoraka krupnog i sitnog pijeska

otvor sita	sitno pijesak			krupan pijesak				
	ostatak na situ	ukupni ostatak na situ		prolaz kroz sito	ostatak na situ	ukupni ostatak na situ		prolaz kroz sito
mm	g	g	%	%	g	g	%	%
4	45	45	4.5	95.5	0	0	0	100
2	7	52	5.2	94.8	16	16	1.6	98.4
1	11	63	6.3	93.7	153	169	16.9	83.1
0.5	19	82	8.2	91.8	511	680	68	32
0.25	632	714	71.4	28.6	268	948	94.8	5.2
0.125	230	944	94.4	5.6	7	955	95.5	4.5
0.09	17	961	96.1	3.9	6	961	96.1	3.9
0.063	7	968	96.8	3.2	1	962	96.2	3.8
dno	19	987	98.7	1.3	3	965	96.5	3.5

Na grafiku 4.4.1 prikazane su granulometrijske krive sitnog i krupnog pijeska, koji su korišćeni u testu vertikalne infiltracije.



Grafik 4.4.1. Granulometrijske krive pijeska korišćenog u testu vertikalne infiltracije

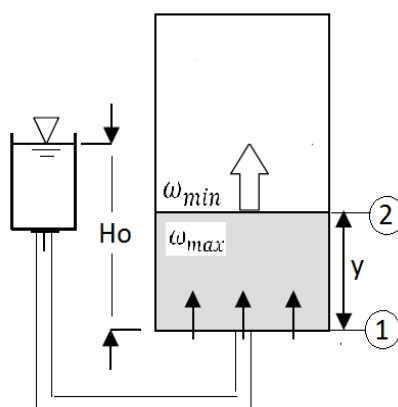
5. RAČUNSKI MODEL INFILTRACIJE U PJESKU

5.1. Računski dio eksperimenta- Green Ampt metoda

Računski dio eksperimenta zasniva se na rešavanju jednačina vertikalne infiltracije korišćenjem Excel-a. Jednačina kojom je prikazana brzina infiltracije i kapilarnog penjanja u sloju pijeska iznad nivoa vode, dobijena je iz jednačine Green Ampt-a. Ona je izvedena iz Darsijevog zakona za brzinu protoka u propustljivom zemljištu i jednačine održanja mase. Prednost ove metode u odnosu na neke druge, kao što je Hortonova, je što se infiltracija može dobiti iz fizički mjerljivih parametara. Koeficijent infiltracije k je dobijen mjerenjem na modelu primjenom Darsijevog testa sa promjenljivim nivoom.

Pretpostavke metode:

- Vlažni front je tačno definisan
- Vlažnost u sloju iznad i ispod vlažnog fronta ostaje konstantna
- Raspored vlage po sloju je uniforman



Slika 5.1. Skica laboratorijske instalacije I dovaoda vode u kolonu sa pjeskom

Za potrebe ovog eksperimenta, (slika 5.1.), jednačina vertikalne infiltracije u smeru od dna ka površini je dobijena slično kao i jednačina poniranja vode sa površine. Krenulo se od dinamičke jednačine (5.1.) i jednačine kontinuiteta (5.4.).

Dinamička jednačina:

$$q(t) = -k \cdot \frac{d\psi}{y} \quad 5.1$$

$$\psi_2 = y - h_k \quad 5.2$$

$$\psi_1 = H_0 \quad 5.3$$

Jednačina kontinuiteta:

$$dy(\omega_{\max} - \omega_{\min}) = q(t)dt \quad 5.4$$

Spajanjem ove dvije jednačine dobija se:

$$\frac{dy}{\left(1 - \frac{h_k + H_0}{y}\right)} = -k \frac{dt}{(\omega_{\max} - \omega_{\min})} \quad 5.5$$

Gdje su:

y – položaj vlažnog fronta

k – Darsijeb koeficijent infiltracije

$d\psi$ – razlika potencijala u presjecima 1 i 2

h_k – visina kapilarnog penjanja

H_0 - vertikalno rastojanje od dna kolone do nivoa vode na prelivu

ω_{\max} –vlažnost potpuno zasićenog pjeska (ispod vlažnog fronta)

ω_{\min} – vlažnost prije početka infiltracije (iznad vlažnog fronta)

Daljim sređivanjem se dolazi do zavisnosti položaja vlažnog fronta, količine infiltrirane vode, i vremena proteklog od početka infiltracije:

$$-\frac{y}{h_k + H_0} - \ln\left(1 - \frac{y}{h_k + H_0}\right) = \frac{kt}{(\omega_{\max} - \omega_{\min})(h_k + H_0)} \quad 5.6$$

Računskim modelom je trebalo simulirati dvije faze laboratorijskog ispitivanja infiltracije, fazu kapilarnog upijanja vode u pijesak u koloni, a zatim podizanje preлива na 20 cm od dna kolone, kada se infiltracija nastavlja usled razlike pritisaka. Rešavanjem jednačine 5.6 po y , iz jednačine Darsijevog zakona se može dobiti intenzitet upijanja u trenutku t_i i položaj vlažnog fronta y_i u tom trenutku. Pri tom, račun ne zavisi od prethodnog vremenskog trenutka, već za zadate parametre, jednačina opisuje sve one promjene koje su se desile do trenutka t_i . Iz tog razloga, da bi računski model što realnije prikazao laboratorijsko ispitivanje, vrijeme infiltracije, t_m , je podijeljeno na dva intervala:

$0 \leq t \leq t_n$ – period kada se voda kapilarno infiltrira u kolonu sa pjeskom ($H_0^1=0\text{cm}$)

$0 \leq t \leq t_{m-n}$ – period kada do nastavka infiltracije dolazi usled razlike potencijala na prelivu i dnu kolone ($H_0^2=20\text{cm}$).

Ovakvom podjelom vremena infiltracije, za vremenske trenutke $t_i \in [0, t_{m-n}]$, uz uslov da je $H_0=20\text{cm}$, dobijene vrijednosti y_i nisu odgovarale realnim, već su računate na osnovu formule 5.7. Način uzimanja vremenskih trenutaka u toku proračuna i prikaz rezultata proračuna grafički su prikazani na slici 5.2.

$$y_i(t_{iukupno}) = y_i(t_{iracunsko}) + y_n(t_n) \quad 5.7.$$

A ukupno vrijeme je računato:

$$t_{iukupno} = t_{iracunsko} + t_n \quad 5.8.$$

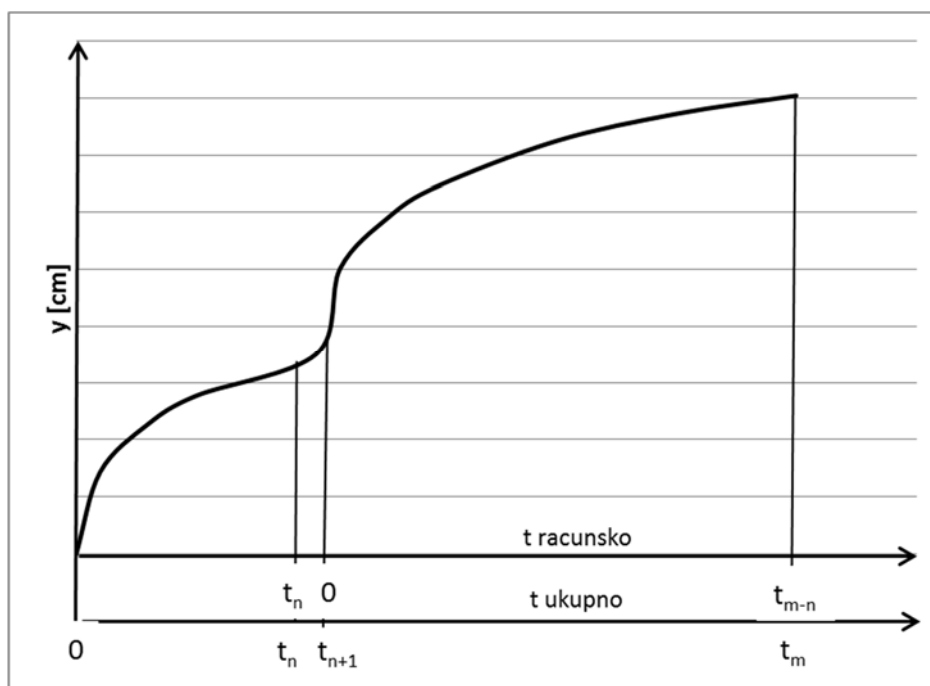
Gdje je:

$t_{iracunsko} \in [0, t_{m-n}]$ – vremena korišćena u proračunu

$t_{iracunsko} \in [t_{n+1}, t_m]$ – vremena korišćena za prikaz rezultata proračuna

Treba napomenuti da je za potrebe proračuna trebalo uraditi i korekciju H_0^2 , korišćenjem formule 5.9.

$$H_0^2 = 20 - y_n \text{ [cm]} \quad 5.9.$$



Slika 5.2. Način uzimanja vremenskih trenutaka u toku proračuna pri simulaciji laboratorijskog testa

Rezultati dobijenih promjena $y(t)$, iskorišćeni su i za dobijanje promjena zapremina infiltrirane vode u toku vremena. Zapremine infiltrirane ΔV_i vode su dobijene korišćenjem formule 5.11 uz pretpostavku metode Green Ampt-a o uniformnosti vlažnosti u sloju uspod i iznad vlažnog fronta.

$$\Delta V_i = y_i \cdot \frac{D^2 \pi}{4} \cdot \omega_{max} \quad 5.10.$$

Gdje su:

ΔV_i - zapremina infiltrirane vode u trenutku t_i

y_i - položaj vlažnog fronta u trenutku t_i

D -unutrašnji prečnik kolone sa pijeskom

ω_{max} -maksimalna vlažnost pijeska

5.2. Proračun i rezultati

Parametri koji figurišu u jedničini Green Ampt-a su h_k , H_0 , ω_{max} , ω_{min} i k . Kao što je već pomenuto svi ovi parametri su fizički mjerljivi. Minimalna i maksimalna vlažnost (ω_{min} i ω_{max}) su dobijene metodom sušenja uzoraka u pećima. Koeficijent infiltracije k je dobijen laboratorijski primjenom Darsijevog testa sa promjenljivim nivoom. Vrijednosti parametara korišćenih u računskom modelu su prikazane u tabelama 5.1 i 5.2.

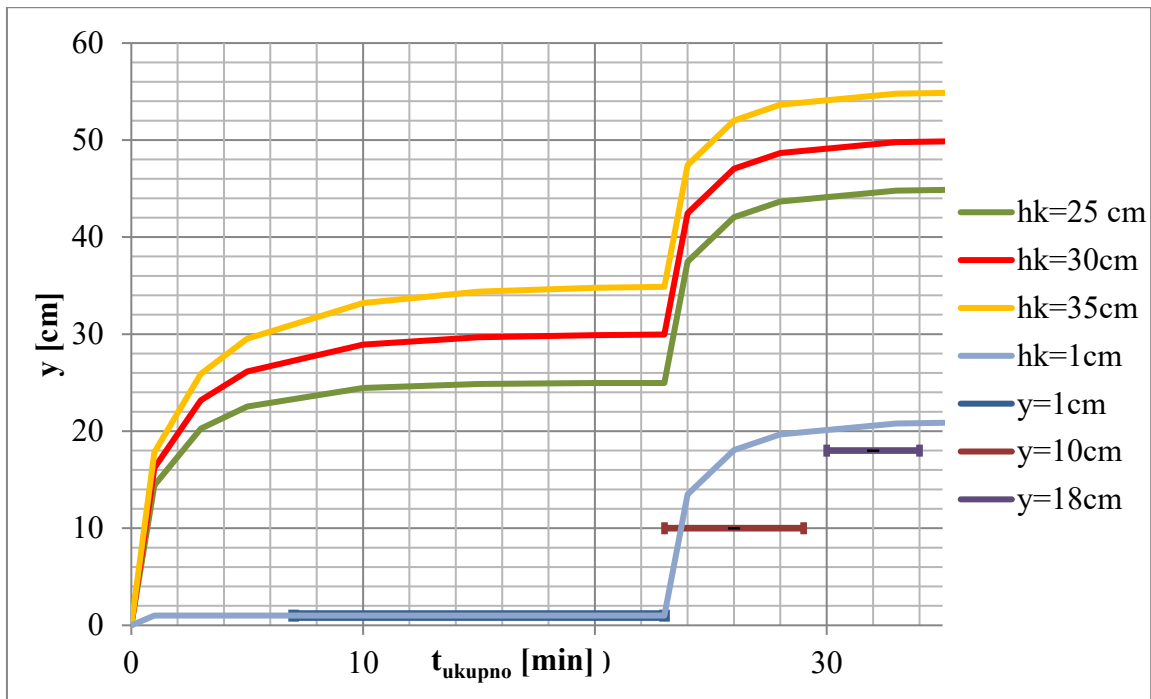
Visina kapilarnog penjanja pjeska h_k , je takođe vizički mjerljiv parameter. Međutim, zbog dimenzija kolone, mismo bili u mogućnosti da ga izmjerimo. Računski model je iskorišten da bi se vidjelo koja vrijednost h_k odgovara ispitivanom pjesku. Rezultati dobijeni računski za različite vrijednosti h_k su upoređeni sa rezultatima dobijenim sa laboratorijskog modela.

5.2.1. Krupan pijesak

Tabela 5.1. Parametri Green Ampt metode za krupan pijesak

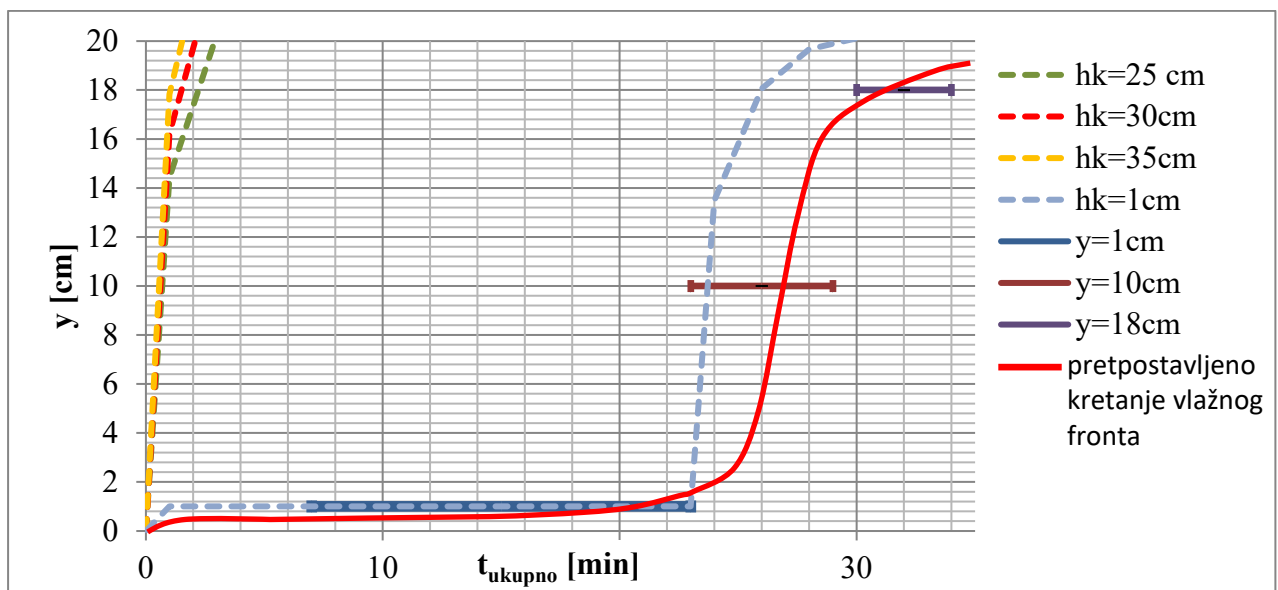
$\omega_0=$	0.3	%
$\omega_{max}=$	18.81	%
$H_0=$	0	m
$k=$	18.903	m/dan

Na grafiku 5.1. su grafički prikazane brzine kretanja vlažnog fronta dobijene Green Ampt metodom. Računski model je urađen za različite vrijednosti h_k i parametre za krupan pijesak. Dobijeni rezultati su upoređeni sa laboratorijski dobijenim vremenima prolazanja vlažnog fronta pored sonde.



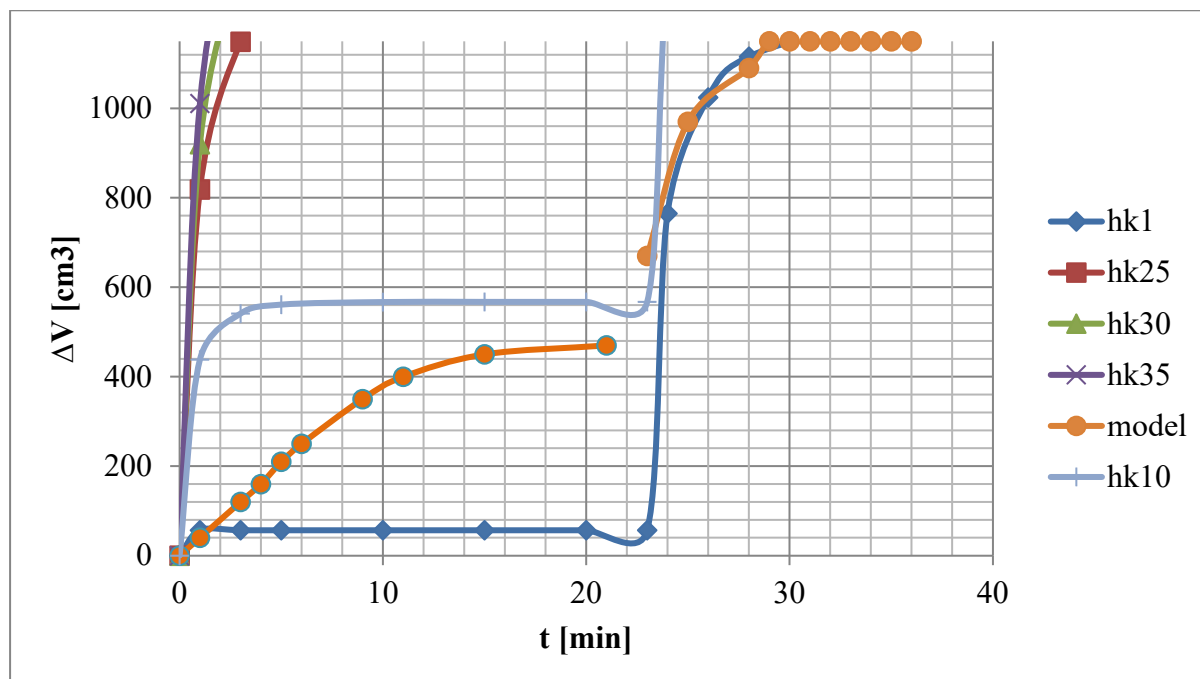
Grafik 5.1. Poređenje brzina kretanja vlažnog fronta dobijenim računskim modelom sa vrijednostima dobijenim laboratorijskim modelom

Sa grafika 5.1. se vidi da računski dobijene brzine kretanja vlažnog fronta ne odgovaraju laboratorijskim ni za jedan od pretpostavljenih teorijskih vrijednosti h_k (25, 30 i 35 cm). Radi poređenja rezultata, račun je urađen i za fiktivnu vrijednost $h_k = 1\text{cm}$. Primjećeno je da se čak ni u tom slučaju laboratorijske i računске vrijednosti nisu poklopile. Na grafiku 5.2 je prikazano pretpostavljeno kretanje vlažnog fronta u zadatim uslovima.



Grafik 5.2. Poređenje dobijenih i pretpostavljenih brzina kretanja vlažnog fronta

Sličnost između računskog i laboratorijskog modela sagledana je na još jedan način. Poređene su promjene zapremine infiltrirane vode (prikazano na grafiku 5.3). Laboratorijske vrijednosti su dobijene na osnovu mjerenih promjena težine, a računske iz dobijenih položaja vlažnog fronta.



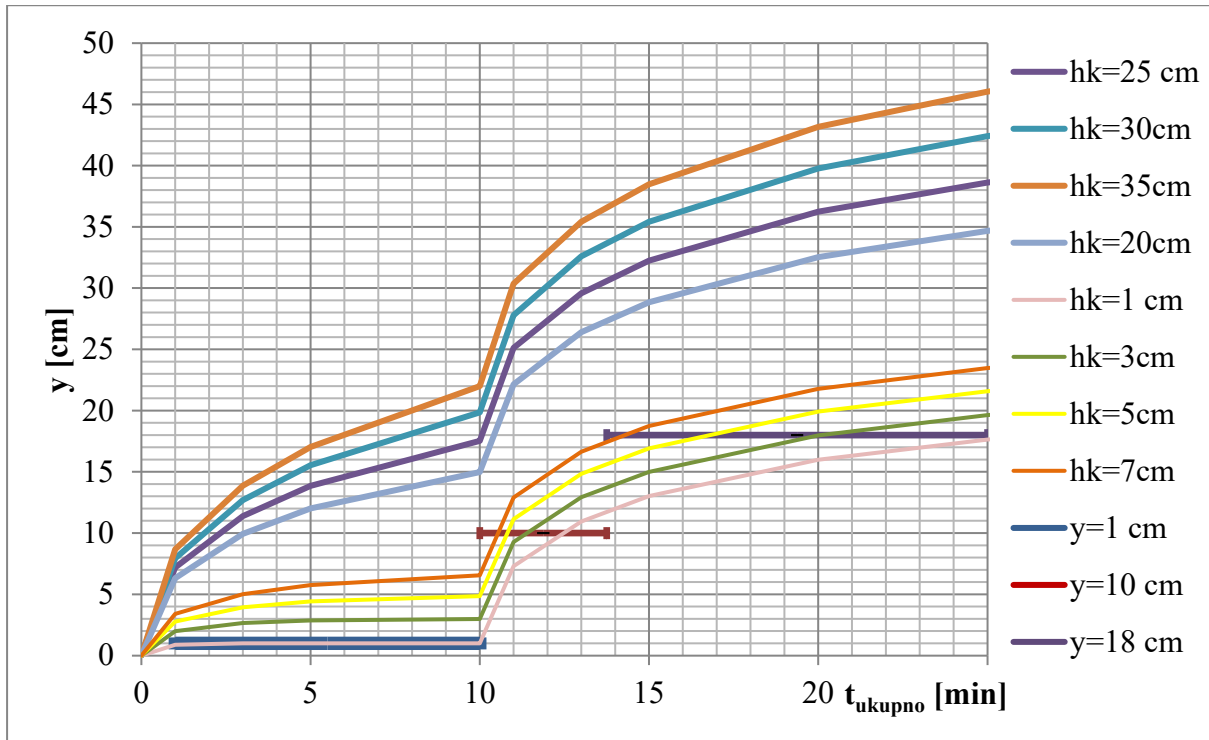
Grafik 5.3. Promjene zapremine infiltrirane vode toku eksperimenta

5.3.2. Sitan pijesak

Tabela 5.2. Parametri Green Ampt metode za sitan pijesak

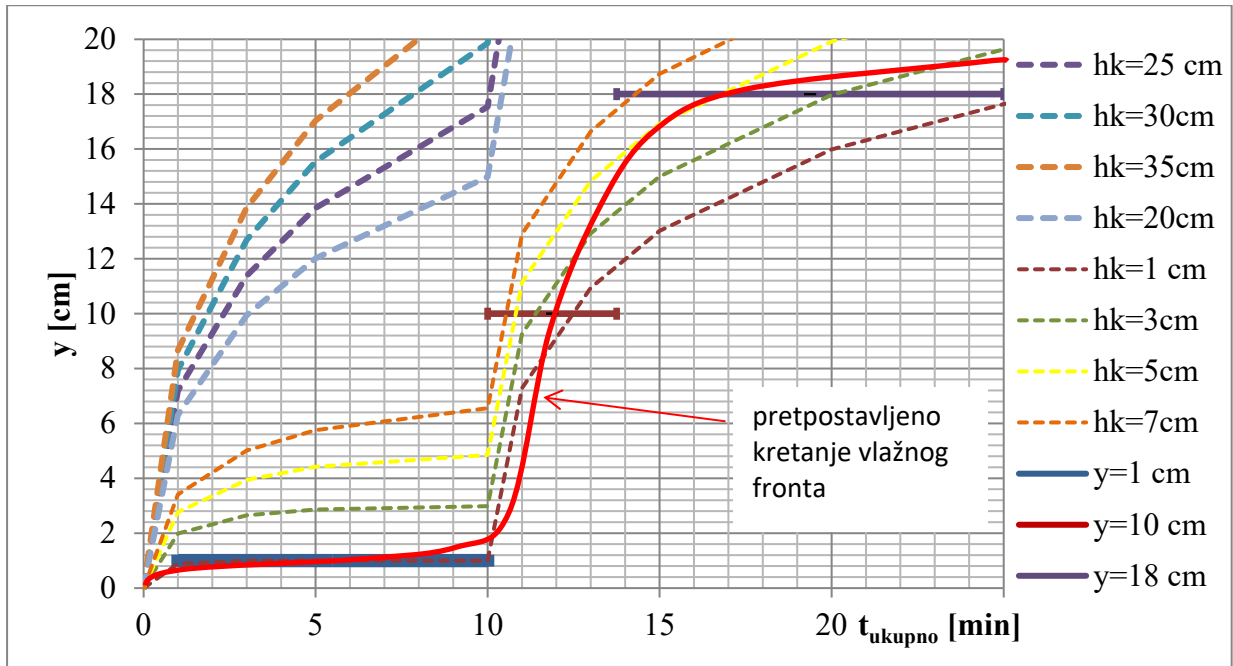
$\omega_0 =$	0.3	%
$\omega_{max} =$	12.5	%
$H_0 =$	0	m
$k =$	3.231657	m/dan

Rezultati proračuna metodom Green Ampta su i za sitan pijesak obrađeni na isti način kao i za krupan pijesak. Na grafiku 5.4 su prikazani rezultati za različite vrijednosti h_k i poređenje sa laboratorijski dobijenim vrijednostima.



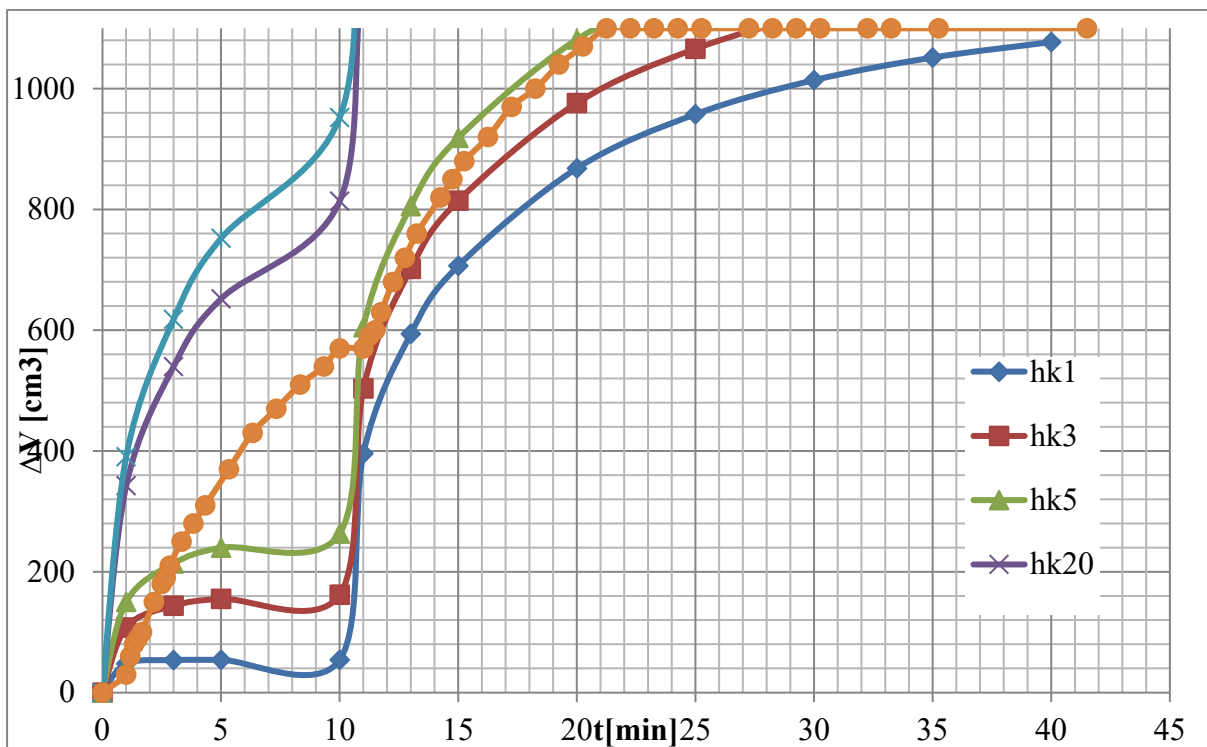
Grafik 5.4. Poređenje brzina kretanja vlažnog fronta dobijenih računskim modelom sa vrijednostima dobijenim laboratorijskim modelom

Sa grafika 5.4 se vidi da u računskom modelu infiltracije vode kroz sitan pijesak, za vrijednosti $1 \leq h_k \leq 7$ cm, dobijaju se vrijednosti koje odgovaraju laboratorijskim. Na grafiku su prikazane sve dobijene vrijednosti y . Maksimalna računaska vrijednost za y odgovara onome što bi se postiglo u prirodi da nema nikakvog ograničenja na vertikalno pomjeranje vlažnosti. Međutim, u laboratoriji je pomjeranje vlažnog fronta ograničeno debljinom pjeska na 20cm. Na grafiku 5.5 su prikazana pretpostavljena kriva položaja vlažnog fronta u vremenu, i upoređena je sa laboratorijskim i računskim vrijednostima. Rezultati na ovom grafiku su prikazani samo za položaje $y \leq 20$ cm.



Grafik 5.5. Poređenje dobijenih i pretpostavljenih brzina kretanja vlažnog fronta u sitnom pijesku

Kao i pri obradi dobijenih rezultata za sitan pijesak, i ovdje su poređene vrijednosti promjene vlažnosti u toku infiltracije. Rezultati su prikazani na grafiku 5.6.



Grafik 5.6. Promjene zapremine infiltrirane vode toku eksperimenta

6. ZAKLJUČCI SA PREDLOGOM ZA DALJI RAD

Pri testu ponovljivosti primjećena su odstupanja od 2 % pri nižim, i do čak 50 % pri većim vrijednostima vlažnosti (oko 35% za krupan i 40% za sitan pijesak). Razlog mnogo većih odstupanja pri vrijednostima vlage iznad 10 % je zakrivljenost kalibracione krive date od strane proizvođača. Da bi se izbjegle ovakve greške, sonde ne bi trebalo pomjerati dok traje mjerenje.

Takođe su primjećena i međusobna odstupanja napona očitana različitim sondama kada se nalaze u uslovima iste vlažnosti. Iz tih razloga potrebno je svaku sondu posebno kalibrisati i posebno za svaki materijal u kome se mjeri. Kalibracione krive proizvođača treba posmatrati samo kao primjer kalibracije.

Test mjerenja nivoa je pokazao pojavu kapilarnog penjanja vode unutar sonde zbog njenog lošeg kvaliteta. Jedan od načina da se to izbjegne je da se napravi posebna vodonepropusna „futrola“ za sondu ili da se ona premaže nekim zaštitnim sredstvom ukoliko je planirano da duže stoji u vodi. Međutim, problem sa ovakvim vidovima zaštite od ulaska vode unutar sonde, je što se potpuno mjennjaju specifikacije date od strane proizvođača. Pretpostavlja se da bi materijali koji potpuno obmotavaju sondu uticali na smanjenje njene osjetljivosti. U tom slučaju bila bi neophodna ponovna kalibracija sonde, kao i provjera osjetljivosti sonde na različite spoljne uticaje.

Jedan od propusta laboratorijskog modela su bile dimenzije kolone za ispitivanje koje nisu zadovoljile sve potrebe ispitivanja. Naime, zbog male visine kolone, nije bilo moguće fizički izmjeriti visinu kapilarnog penjanja pjeska, pa je to bio nepoznati parametar u računskom dijelu testa. Preporuka je da visina kolone bude oko 50 cm, jer je visina kapilarnog penjanja za većinu materijala nešto manja od te vrijednosti.

Laboratorijskim ispitivanjem i računskim modelom dobijene su vrijednosti brzine infiltracije u pijesku i kretanja vlažnog fronta. U toku poređenja ovih rezultata, primjećeno je da se laboratorijske i računске vrijednosti poklapaju jedino upotrebom fiktivnih vrijednosti h_k u računskom modelu. Zbog pretpostavki metode Green Ampta, da je vlažni front tačno definisan i da je raspored vlage ispod i iznad fronta uniforman, model nema mogućnost prikazivanja postepenog povećanja vlažnosti i dostizanja njene maksimalne vrijednosti. Iz tog razloga, ovom metodom se ne može opisati realno stanje vlažnosti u pijesku. Za ovakva ispitivanja potrebno je koristiti neki detaljniji model koji uzima u obzir postepene promjene, a ne samo početnu i krajnju vrijednost.

7. LITERATURA

- 1) <http://docs.bentley.com/en/HMPondPack/Help-10-84.html>
- 2) <http://biosystems.okstate.edu/darcy/Conductivity/FallingHeadLab.htm>
- 3) Fraden, J. (2004). Handbook of modern sensors, physics, design and applications. San Diego, California
- 4) <http://www.vegetronix.com/Products/VG400/>
- 5) Muñoz-Carpena, R. (2004). Soil Moisture Sensor Introduction. Florida: University of Florida
- 6) Ivetić, M. (2001). Računska hidraulika strujanja vode u poroznim ršedinama. Skripta. Beograd
- 7) Muravljev M., Stojiljković I., Živković S., Jevtić D., Krasulja M., Kovačević T. (2007). Praktikum za vežbe iz građevinskih materijala. Građevinski fakultet. Beograd

8. PRILOZI

VEGATRONIX SONDE

Vegatronix sonde za mjerenje vlažnosti zemljišta (VH400 serija)

Vegatronix VH400, serija visoko frekventnih sondi, omogućava jeftino praćenje sadržaja vode u zemljištu. Princip rada je zasnovan na mjerenju dielektrične konstante pa je stoga neosjetljiva na sadržaj soli u zemlji i neće korodirati tokom vremena kao konduktivne sonde. Sonde su male, izdržljive i troše jako malo električne energije. Dimenzije sonde i izgled su prikazani na slici 8.1. U poređenju sa drugim jeftinim sondama, kao što su sonde u gipsanim blokovima, vrijeme prikaza rezultata im je jako malo. Mogu se instalirati i uzeti podaci za manje od 1 sekunde. Uz njih dolazi kabal dug 2 metra. Unutar kabla se nalaze 3 žice, bezbojna za uzemljenje, crvena za bateriju i crna za izlazni napon (izmjerena vrijednost).

Vegatronix sonde imaju sledeće karakteristike:

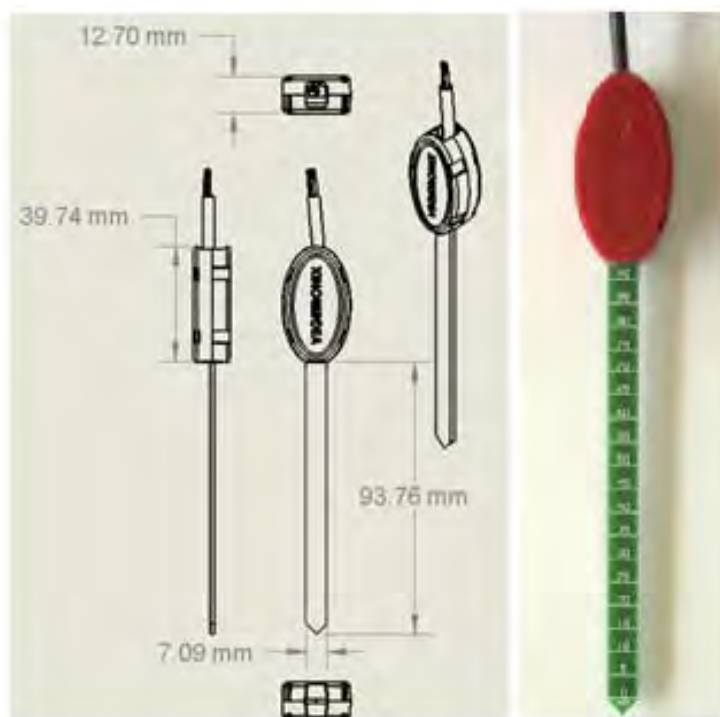
- Niska cijena
- Mala potrošnja struje
- Izdržljivi
- Velika tačnost
- Mala veličina
- Otporan na soli
- Regulisan ulazni napon
- Širok opseg ulaznog napona
- Mjerenje zapreminskog i težinskog sadržaja vode

Tabela 8.1. Osnovne karakteristike Vegatronix VH400 sonde

Cijena	\$36.95
Ulazni napon	3.3 V do 20V
Operaciona temperatura	-40°C do 85°C
Oblast izlaznog napona	0 do 3V
Napajanje	< 7mA
Otpornost na so	Da
Radna frekvencija	80MHz
Interni regulator napona	Da
Tačnost na 25°C	2%

Primjena kod:

- Sistemima prskača i irigacionim sistemima
- Praćenje vlažnosti u jako zasićenom zemljištu
- Osmatranje poljskog zemljišta kao i zemlje u saksijama
- Mjerenje nivoa vode
- Kod upravljanja vodama



Slika 8.1. Vegatronix VH400 sonda za mjerenje vlažnosti (desno) i skica sa njenim dimenzijama (lijevo)

Ove sonde mjere dielektričnu konstantu sredine sa kojom su u direktnom kontaktu dajući srednju vrijednost očitavanja duž same sonde, pa je stoga u nehomogenim sredinama potrebno postaviti više sonde. Osjetljive su na granulometrijski sastav i tip zemljišta. Veoma su precizne i mjere cio opseg vlažnosti zemljišta od potpuno suvog do potpuno zasićenog, tj. od 0% do 60% zapreminskog sadržaja vode. Toliko su precizne da mogu izmjeriti vlažnost ruku.

Kriva veze napona i zapreminskog sadržaja vode u zemlji se može aproksimirati poznavanjem 4 tačke u jednačini 8.1.

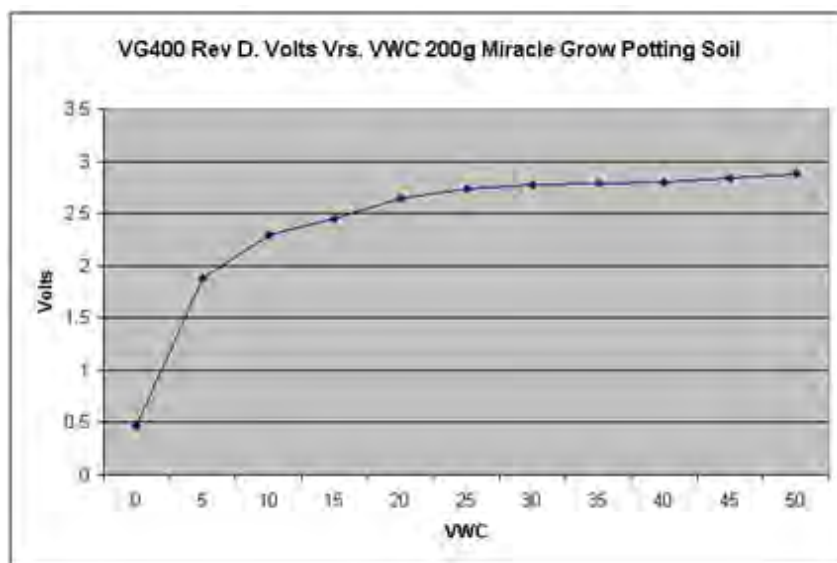
$$VWC = mV - b \quad 8.1.$$

gdje je

$$m = \frac{(VWC_2 - VWC_1)}{(V_2 - V_1)} \quad 8.2.$$

Tabela 8.2. Jednačine koje opisuju kalibracionu krivu za različite oblasti napona

Oblasti napona	Jednačina
Od 0 do 1.1V	$VWC = 10V - 1$
Od 1.1V do 1.3V	$VWC = 25V - 17.5$
Od 1.3V do 1.82V	$VWC = 48.08V - 47.5$
Od 1.82V do 2.2V	$VWC = 26.32V - 7.89$



Slika 8.2. Kalibraciona kriva izlaznog napona i zapreminskog sadržaja vode u zemljištu

Ova sonda se može koristiti za mjerenje nivoa vode koristeći kalibracionu krivu i skalu, od 0 do 9 cm, koja se nalazi na sondi. Kalibraciona kriva se može aproksimirati linearnom jednačinom 8.3.

$$y = mx - b \quad 8.3.$$

gdje m označava nagib linije.

Vegatronix sonde za mjerenje temperature THERM200

THERM200 je sonda za mjerenje temperature zemljišta čiji je mjerni opseg od -40°C do 85°C . Izlazni podatak je napon linearno proporcionalan temperaturi, pa nisu potrebne komplikovane jednačine da bi se izračunala temperatura iz dobijenog napona. Visoke je tačnosti sa rezolucijom od 0.125°C .

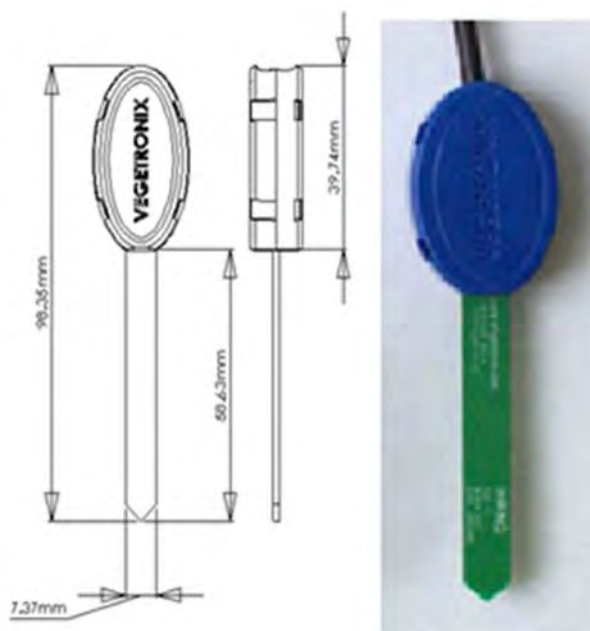
Kabal sonde ima 3 žice za: uzemljenje, napajanje i izlaz. Sonda se napaja baterijom od 3.3V do 20V, a izlazni napon je od 0 do 3V, gdje 0 predstavlja -40°C a 3V predstavlja 85°C .

Sonde mogu biti ukopane u terenu ili u saksije, a zajedno sa sondama za mjerenje vlažnosti, mogu se koristiti za detektovanje prisustva leda.

Pred početka semplovanja podataka, potrebno je prethodno zagrijavanje sonde, tj. podestiti loger tako da se sonda prije svakog očitavanja temperature nekoliko trenutaka napaja strujom.

Tabela 8.3. Osnovne karakteristike Vegatronix THERM200 sonde

Potršnja struje	< 3mA
Napon napajanja	3.3V do 20V
Operaciona temperatura	-40°C to 85°C
Tačnost	±0.5°C
Rezolucija	0.125°C
Izlazni napon	0V do 3V
Veza napona i temperature	$T(^{\circ}\text{C}) = \text{napon} * 41.67 - 40$
Dužina kabla	2 metra



Slika 8.3. Vegatronix sonda za mjerenje temperature, skica sa dimenzijama (lijevo) I slika sonde (desno)

LOGGER-8-USB

Ovaj jeftini loger je odličan za čitanje do čak 8 Vegatronix sonde za mjerenje vlažnosti I temperature zemljišta. Izvještaj o prikupljenim podacima je moguće prebaciti I prelistati na računar uz pomoć USBa, ili može raditi samostalno I čuvati podatke u svojoj memoriji za kasnije pregledavanje.



Slika 8.4. Vegatronix logger-8-USB

Jako se brzo podešava. Kada je povezan na računar napaja se preko USB kabla, a također se može napajati I uz pomoć baterija, od 5 do 24V.

Svaki kanal za povezivanje senzora ima 3 tačke na terminalnom bloku: za napajanje, za uzemljenje I za podatke (način povezivanja je prikazan na slici 8.4.). Svi kanali se istovremeno napajaju.

Povezan na računar, uređaj izgleda kao serijski port, tako da bilo koji softver za komunikaciju, npr. Hyper terminal, može biti korišćen za kontrolisanje I prikupljanje podataka. Hyper terminal je standardan za sve windows sisteme tako da korisnik ne mora da kupuje dodatne softvere.

Radi lakše manipulacije podacima, oni se prikazuju odvojeni zarezima. U Hyper terminal je potrebno zadati njihovo čuvanje u tekstualnom formatu. Radi preglednosti za podatke iz svakog kanala je moguće dodjeliti druge oznake, I kanali mogu međusobno biti različito kalibrisani. Kalibracione krive se definišu uz pomoć 2, do 10 tacaka.

Loger se ne mora koristiti samo za vegatronix sonde. Može koristiti za čitanje podataka sa bilo kojeg mjernog uređaja čiji je izlaz manji od 3.3V. Senzore sa većim izlanim naponom je takođe moguće koristiti uz pomoć jednostavnog transformatora koji skalira napon na neku manju vrijednost.

Loger troši svega 85uA kada ne skuplja podatke pa je odličan u situacijama kada je potrebno stajati energiju.

Karakteristike:

- Mogućnost praćenja čak 8 senzora
- Podaci se prenose na računar ili čuvaju u internoj memoriji logera
- Koristi se realno vrijeme
- Mala potrošnja struje
- Niska cijena
- Utični terminalni blokovi
- Dizajniran za lako montiranje na zid
- Oze se napajati preko USBa ili nekog drugog sekundarnog izvora
- Svaki kanal se može posebno kalibrisati sa čak 10 tacaka

Tabela 8.4. Osnovne karakteristike Logger-8-USB-a

Potrošnja	85uA
Dolazni napon	5V sa USBa, ili sa spoljnog izvora sa 5 do 24V
Dimenzije	5.0"x2.5"x1.0" (12.7cm x 6.35cm x 2.54cm)
Broj senzora koji se mogu istovremeno povezati	8
Maksimalni ulazni napon	Od 0 do 3.3V
Memorija	91,900 za 8 kanala za snimanje
Temperaturna osjetljivost	-40°C do 85°C

Komande:

Uz logger se ne isporučuje nikakav softver pa je potreban serijski komunikacioni program za pristup logeru. Proizvođač preporučuje HyperTerminal I jedino za njega garantuje tehničku podršku.

Nakon uključivanja HyperTerminal programa potrebno ga je podesiti za odgovarajući USB/ port, brzina protoka (baud rate) postaviti na 115200, 8-N-1, a "hardware flow control" na "none". Da bi se vidjelo pod kojim brojem je USB priključak logera najlakše je isključiti ga I onda pogledati na listu koji broj je nestao.

Podaci u fleš memoriji se čuvaju po cikličnom principu. Kada je memorija puna, najnoviji podaci se upisuju a najstariji brišu. Potrebno je 20tak sekundi nakon uključivanja da se pokrene memorija.

Tabela 8.5. Komande koje se koriste za komunikaciju sa loggerom i setovanje sonde

h<CR>	Help meni
v<CR>	Prikaz trenutne verzije softwera
o<CR>	Uključiti ili isključiti prikazivanje podataka
d<CR>	Prikaz datuma
d [DD/MM/YYYY]<CR>	Promjena datuma
t<CR>	Prikaz vremena
t [HH:MM:SS]<CR>	Promjena vremena
heart<CR>	Uključi ili isključi LED. Svrha isključivanja LEDa je ušteda baterije
u [sensor index] 'string[5]'<CR>	Postavljanje jedinica uz prikazane podatke I za određenu sondu. Primjer za volte na prvoj sondi u 1 'V'
p [secs]<CR>	Ovom komandom se definiše koliko vremena prije semplovanja počinje senzor da se napaja strujom. Svi kanali se istovremeno napajaju. Ovim se omogućava stabilizacija senzora prije očitavanja podataka. (Ovo treba obavezno uraditi kada se koriste sonde za mjerenje temperature!)
c [sensor index]<CR>	Postavljanje kalibracione krive za određeni senzor
c [sensor index] clear<CR>	Sklanjanje/postavljene kalibracione krive sa određenog senzora
c [sensor index] (X,Y)<CR>	Zadavanje kalibracione krive, X je napon senzora, a Y je mapirana vrijednost. Za zadavanje više tačaka potrebno je samo ponovo pozvati komandu. Logger će sam poređati napone po veličini
s<CR>	Prikaz snimljenih podataka u minutima I sekundama
s [MM:SS]<CR>	Zadavanje intervala snimljanja podatka
e[Sensor index]<CR>	Isključivanje I uključivanje senzora
get<CR>	Prikaz svih validnih podataka počev od najstarijih do najnovijih. Koristi se spora brzina prenosa kako bi se sačuvala baterija. S obzirom da prikazivanje podataka iz flash memorije može dugo trajati, za prekid se koristi "q<CR>"
dump<CR>	Prikaz svih podataka iz flash memorije, bez ikakvog reda. Dugo traje I moguće je prekinuti komandu prije završetka jedino tako što se isključi napajanje iz loggera.
del<CR>	Brisanje svih podataka iz interne memorije
Wipe<CR>	Brisanje iz flash memorije. Ovo se koristi za čišćenje starih podataka