

**GRAĐEVINSKI FAKULTET
UNIVERZITET U BEOGRADU**



SEMINARSKI RAD

Predmet: Merenja u hidrotehnici

TEMA:

**Monitoring vlage zemljišta ispod infiltracionog
rezervoara**

Mentor:

Prof. dr Dušan Prodanović

Ivana Živković

Marko Petrović

Milan Banović

Miloš Todorić

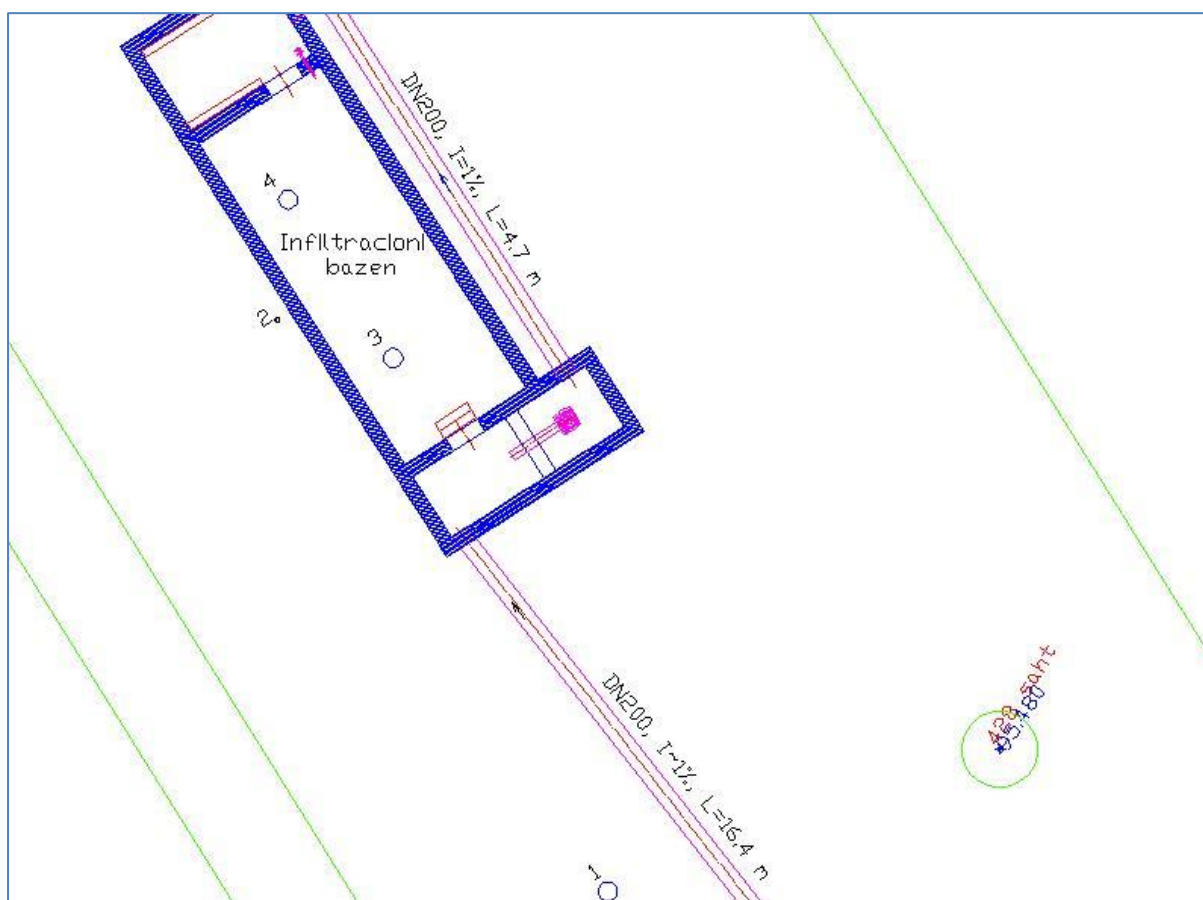
Nikola Perić

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Kalibracija sonde za merenje vlažnosti zemljišta	3
2.1. Opis sonde za merenje vlažnosti.....	3
2.2. Princip dielektričnih metoda za merenje vlažnosti.....	4
2.3. Postupak kalibracije sonde.....	5
2.4. Rezultati kalibracije sonde	7
3. Sonde za merenje temperature	9
4. Ugradnja sonde na eksperimentalnom slivu	10
5. Postavljanje opreme za monitoring.....	13
6. Nalivanje infiltracionog bazena	15
7. Analiza i diskusija rezultata merenja	17
8. Zaključak i predlog za dalji rad	21
9. Literatura.....	22

1. Uvod

Zadatak ovog seminarskog rada je praćenje promena vlažnosti zemljišta na eksperimentalnom slivu, u cilju određivanja prostiranja vlažnog fronta, kao i drugih kvalitativnih parametara tla koji se mogu dobiti obradom rezultata merenja. Eksperimentalni bazen na kome su vršena merenja nalazi se u dvorištu Instituta za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo (*Slika 1*). Na slici su označena mesta bušotina (1, 2, 3, 4) u kojim su smeštene sonde za merenje vlage i temperature, o čemu će kasnije biti više reči.



Slika 1: Infiltracioni bazen

Seminarski rad se sastoji iz više koraka u kojima su studenti obavili sledeće neophodne zadatke: kalibrisali i postavili sonde za vlažnost zemljišta i nivo vode, postavili sonde za merenje temperature zemljišta, potom postavili opremu za monitoring i, konačno, nakon nalivanja bazena vodom, obradili izmerene vrednosti. Budući da su sva merenja izvršena u decembru 2013. i da je zemljište ispod infiltracionog bazena uglavnom zasićeno, obrađeni podaci nisu bili od velike koristi za dalji rad.

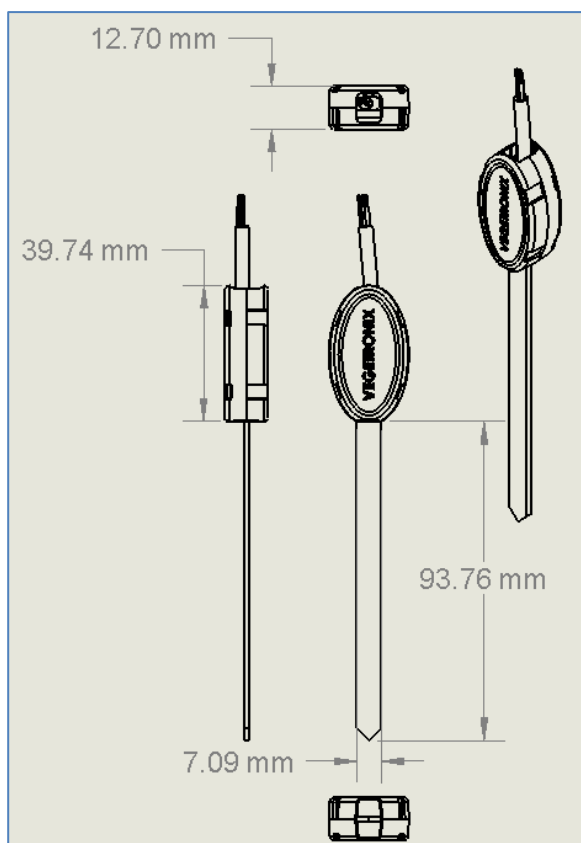
2. Kalibracija sonde za merenje vlažnosti zemljišta

2.1. Opis sonde za merenje vlažnosti

Za potrebe ovog seminarskog rada korišćene su sonde američkog proizvođača Vegetronix tipa VH400 (Slika 2). Sonde VH400 mere dielektričnu konstantu zemljišta, pa po principu rada pripadaju dielektričnim metodama. One nisu osetljive na salinitet zemljišta i ne korodiraju tokom vremena. Mogu da ostanu duže vreme u zemljištu, što je neophodno kod njihove najčešće primene u poljoprivredi. Rade na visokim frekvencijama, zbog čega je veći utrošak energije, ali su baš zbog visoke operativne frekvencije mnogo osetljivije pri visokoj vlažnosti zemljišta. Malih su dimenzija (Slika 3), što omogućava lako rukovanje i ugradnju. Isporučuju se sa kablovima dužine 2, 5 i 10 m, a zbog udaljenosti opreme za praćenje, u ispitivanju korišćene su ove poslednje.



Slika 2: Sonda VH400



Slika 3: Dimenzije sonde VH400

Uz nisku cenu, imaju i niz drugih prednosti, kao što je veoma kratko vreme odziva (rezultat dobijamo praktično odmah), mogućnost korišćenja za kontinualna merenja i minimalno održavanje pri upotrebi. Ako se pravilno kalibrišu, moguće je dobiti i solidnu tačnost od 2%,

što je dovoljno dobro za potrebe ovog zadatka. Uz sonde se dobija proizvođačka specifikacija sa osnovnim parametrima ove merne opreme (Tabela 1).

Cena	37.95-53.95 \$
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%

Tabela 1: Proizvođačka specifikacija sonde VH400

2.2. Princip dielektričnih metoda za merenje vlažnosti

Ova grupa metoda se zasniva na proceni sadržaja vode u zemljištu merenjem provodnosti tla (ili relativne dielektrične konstante), koja određuje brzinu prostiranja elektromagnetnih talasa kroz tlo. U trofaznoj sredini kakvo je tlo, svaka od komponenata (mineral, voda i vazduh), utiču na vrednost njegove relativne dielektrične konstante, u zavisnosti od udela. Budući da je dielektrična konstanta vode ($\kappa_{aw} = 81$) znatno veća od ostalih kompenanata tla ($\kappa_{as} = 2-5$ za mineral i $\kappa_{av} = 1$ za vazduh), jasno je da će ukupnu provodnost zemljišta diktirati prisustvo vode.

Dielektrične metode rade na principu merenja vremena prostiranja elektromagnetnog talasa duž transmisionne linije koja je okružena zemljištem ili detektovanja promene frekvencije operativnog kola, pri povezivanju kondenzatora sa oscilatorom koji generiše električno polje. Ovaj drugi princip uglavnom primenjuje sonde sa dve ili više elektroda, dok električna kapacitivnost kondenzatora, tj. sonde, koristi zemljište kao dielektrik.

Ovakvi univerzalni principi rada omogućuju kako široku primenu (poljoprivreda, sistemi za navodnjavanje, hidrometeorologija), tako i veliku raznovrsnost mernih uređaja. Osim prethodno spomenutih prednosti ovih metoda, najznačajnije mane su im velika osetljivost na vazdušne džepove u tlu, zbog čega se mora ostvariti dobra veza sa zemljištem, kao i najčešća neophodnost kalibracije, što iziskuje izvesnu stručnost.

2.3. Postupak kalibracije sonde

Izrada seminarskog rada počela je kalibracijom sonde za merenje vlažnosti zemljišta. Pod kalibracijom podrazumeva se određivanje funkcionalne zavisnosti između fizičke veličine koju nam daje sonda, što je u našem slučaju napon, i one koja nam je od značaja, što je vlažnost zemljišta dobijena direktnom metodom, konkretno termogravimetrijskom, koja se sastoji iz sledećih postupaka:

1. Izmeri se masa manje prazne posude koja se koristi za uzorkovanje (m_p)
2. Posuda se napuni zemljištem koje se ispituje
3. Izmeri se masa posude sa vlažnim zemljištem (m_m)
4. Uzorak se stavlja u peć i suši na temperaturi od 105 °C do konstantne mase;
5. Izmeri se masa posude sa osušenim uzorkom (m_d)

Na ovaj način dobija se veličina ω' koja predstavlja odnos mase vode u uzorku (m_w) i mase suvog uzorka (m_d'):

$$\omega' = \frac{(m_m - m_p) - (m_d - m_p)}{(m_d - m_p)} \times 100\%$$

$$\omega' = \frac{m_m - m_d}{m_d'} \times 100\%$$

$$\omega' = \frac{m_w}{m_d'} \times 100\%$$

Veličina ω' koristi se dalje u radu kao pokazatelj vlažnosti zemljišta, a veza između vlažnosti zemljišta ω i veličine ω' data je izrazom:

$$\omega = \omega' \frac{\gamma_w}{\gamma_d}$$

Gde je: γ_w [kN/m³] – zapreminska težina vode i

γ_d [kN/m³] – zapreminska težina uzorka zemljišta u suvom stanju

Sa stanovišta ovog istraživanja veoma je povoljno koristiti veličinu ω' iz tog razloga što ω' ne zavisi od zapreminske težine uzorka u suvom stanju γ_d .

Oprema koja je potrebna za kalibraciju:

- 1) Tri sonde Vegetronix VH 400 (označene brojevima 6, 8 i 14)
- 2) Računar koji je povezan sa logerom
- 3) Dve graduisane posude (kofe)
- 4) Sito proreza približno 5mm
- 5) Peć

- 6) 4 manje posude za uzimanje uzoraka
- 7) Vaga preciznosti 10^{-4} g
- 8) Menzura
- 9) Tlo uzeto sa eksperimentalnog sliva

Postupak kalibracije:

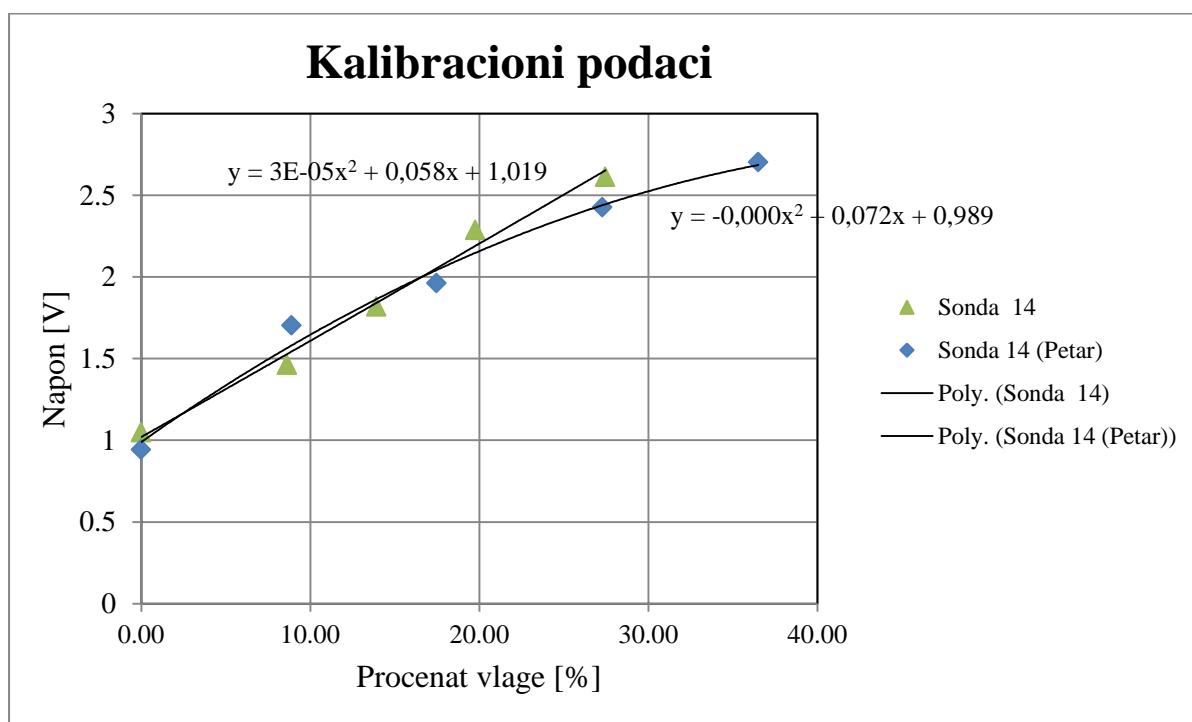
- 1) Prvi korak je mehaničko sitnjenje zemljišta (da bi se zemljište kasnije pravilno ugradilo u uzorke neophodno ga je usitniti).
- 2) Zatim sledi prosejavanje zemljišta da bi se odstranili krupniji komadi i eventualno delovi vegetacije (korenje).
- 3) Nakon što je zemljište prosejano sledi sušenje u peći na temperaturi od $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ najmanje jedan sat, sve do konstantne mase. Posle sušenja smatramo da je vlažnost zemljišta jednaka nuli.
- 4) Da bi se pristupilo daljem pripremanju uzorka neophodno je da se masa ohladi na temperaturi od oko $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 5) Sledi ugradnja uzorka u graduisanu posudu u kojoj će se izvršiti merenje (uranjanje sonde). Uzorak se ugrađuje u najmanje tri sloja uz nabijanje do određene graduisane crte. Nabijanje se vrši da bi se, koliko je to moguće oponašali prirodni uslovi.
- 6) Pre ugradnji sonde, pod pretpostavkom da smo povezali sonde i logger, odnosno logger i računar neophodno je proveriti rad sonde. To se postiže uranjanjem sonde u vodu.
- 7) Posle ugradnje pristupa se ugradnji sonde i očitavanju. Sonde se ugrađuju vertikalno. Rastojanje između dve sonde ne sme biti manje od 2 cm zbog međusobnog uticaja.
- 8) Kako smo ugradili sonde na računaru će se pojaviti rezultati (napon).
- 9) Uzorak iz graduisane posude u kojoj su sonde presipamo u drugu posudu, pritom dodajemo određenu količinu vode odmerene u menzuri (istu količinu dodajemo u narednom ciklusu).
- 10) Mešanjem homogenizujemo masu. Vraćamo zemljište u posudu do graduisane crte trudeći se da što više oponašamo prirodno stanje.
- 11) Ugrađujemo sonde i čitamo rezultate.
- 12) Uzimamo uzorak u manju posudu čiju smo masu prethodno odredili.
- 13) Merimo manju posudu sa vlažnim uzorkom.
- 14) Manju posudu sa vlažnim uzorkom ostavljamo da se suši u peći do konstantne mase.
- 15) Merimo masu osušenog uzorka i na osnovu nje sračunavamo procenat vlažnosti.

Kalibracija sonde se vrši u četiri ciklusa, pri tome se ponavljaju koraci od 9. do 15.

2.4. Rezultati kalibracije sonde

Rezultati kalibracije sonde dati su na dijagramima koji pokazuju zavisnost izlaznog napona U (na ordinatnoj osi) i sadržaja vode u zemljištu ω' (apscisnoj osi). Pored svakog dijagrama data je jednačina krive povučena kroz tačke koje odgovaraju vrednostima osrednjenog izlaznog napona. U jednačini Y predstavlja izlazni napon, a X sadržaj vode u zemljištu.

U okviru studentskih radova praksa je da se pri kalibraciji sonde uvek kalibriše jedna sonda koja je u ovu svrhu korišćena u prethodnom radu, radi upoređivanja rezultata. U ovom slučaju, ponovljena je kalibracija sonde 14, prethodno u diplomskom radu kolege Petra Stojinovića (Dijagram 1).

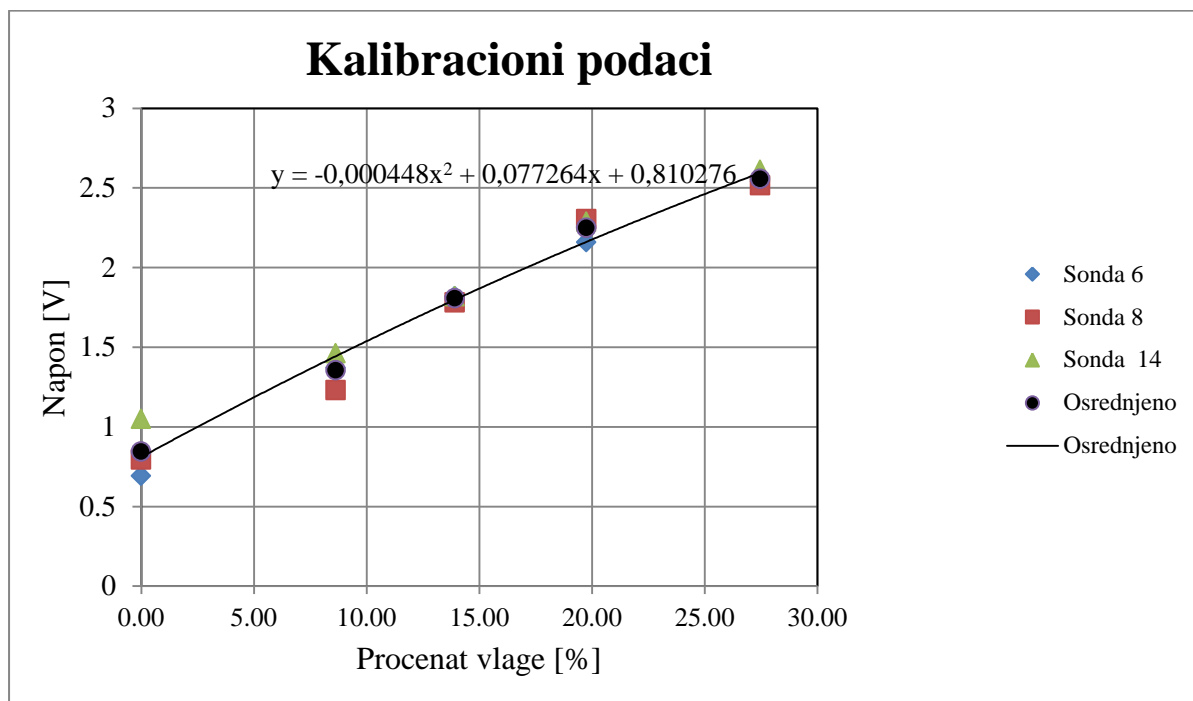


Dijagram 1: Kalibracija zajedničke sonde

Kao što se vidi, kalibracione krive aproksimirane su polinomom drugog stepena. Upoređivanjem krivih, može se zaključiti da se prilično bliske do vlažnosti od 20 %, nakon čega se razilaze. Razlog ovome može da bude mnogo faktora, kao što su pre svega različiti uzorci tretiranog zemljišta (iako sa istog sliva), postavljanje sonde u uzorak u različitim položajima, predugo čekanje na merenje izdvojenog uzorka (pri tom je moguće da se ne slaže sa vlažnošću koja je merena sondom jer je izdvojeni uzorak izgubio vodu usled čekanja) i drugi.

Osim podataka sa sonde 14, obrađeni su i podaci sa sonde 6 i 8. Njihove vrednosti su osrednjene, a potom aproksimirane polinomom drugog stepena (Dijagram 2). Kao što se vidi na dijagramu, vrednosti parcijalnih merenja se dosta dobro slažu, naročito pri većim vlažnostima zemljišta. Najveće odstupanje zapaža se pri vlažnosti od 0 %, kod sonde 6 i 14, a

iznosi 0,35 V. Ovo predstavlja grešku od oko 12 %, što nije dovoljno dobro, s obzirom na očekivanu vrednost greške od 2 %. Ipak, za vrednosti vlažnosti preko 15 % greška ne prelazi očekivanu vrednost, pa se kalibracija može smatrati uspešnom.

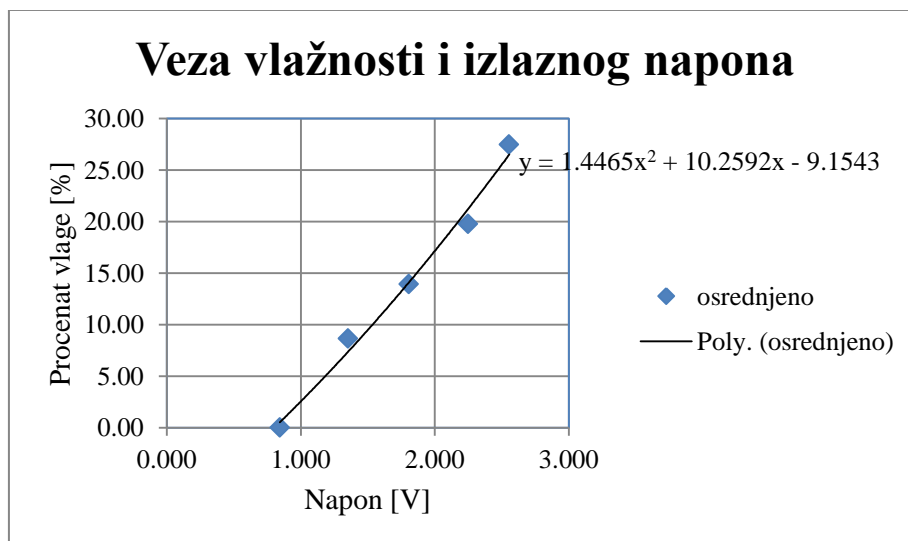


Dijagram 2: Konačna kalibraciona kriva

.Na osnovu osrednjene jednačine, može se dobiti zavisnost koja nam je potrebna pri kasnijoj upotrebi sonde, a to je vlažnost zemljišta izražena preko izlaznog napona:

$$\omega' = 1,446 \cdot U^2 + 10,25 \cdot U - 9,154 \text{ [%]}$$

Ova zavisnost prikazana je na sledećem dijagramu.



Dijagram 3: Veza vlažnosti i izlaznog napona

4. Sonde za merenje temperature

Osim sonde za vlažnost, u cilju dobijanja što realnije slike o zemljišta, u okviru zadatka ugrađene su i sonde za temperaturu istog proizvođača Vegetronix tipa THERM200 (Slika 4). Sonde su malih dimenzija i veoma jednostavne za upotrebu. Priključuju se na isti loger kao i VH400, pa im nije potrebna dodatna oprema. Rade u opsegu između -45 i +80 °C i nije im potrebna kalibracija. Kod njih važi linearna veza temperature i izlaznog napona, pri čemu temperaturi od -45 °C odgovara napon od 0 V, a temperaturi od +80 °C odgovara 3 V:

$$T = 41,67 \cdot U - 40,00$$



Slika 4: Sonda za temperaturu

Uz sonde se dobija proizvođačka specifikacija sa osnovnim parametrima ove merne opreme (Tabela 2).

Cena	29.95 \$
Ulazni napon	3.3 V do 20V
Operaciona temperatura	-40°C do 85°C
Oblast izlaznog napona	0 do 2.44 V
Napajanje	< 3mA
Tačnost	±0.5°C

Tabela 2: Proizvođačka specifikacija

5. Ugradnja sonde na eksperimentalnom slivu

Kao što je prikazano na slici 1, na eksperimentalnom slivu ugrađene su sonde za merenje temperature i vlažnosti zemljišta.

Ugradnja je započela početkom novembra 2013. na mestu označenom sa 1. Najpre je uspomoc svrdla napravljena prva bušotina dubine 50 cm i prečnika 20 cm. Postavljene su sonde za vlažnost i za temperaturu:

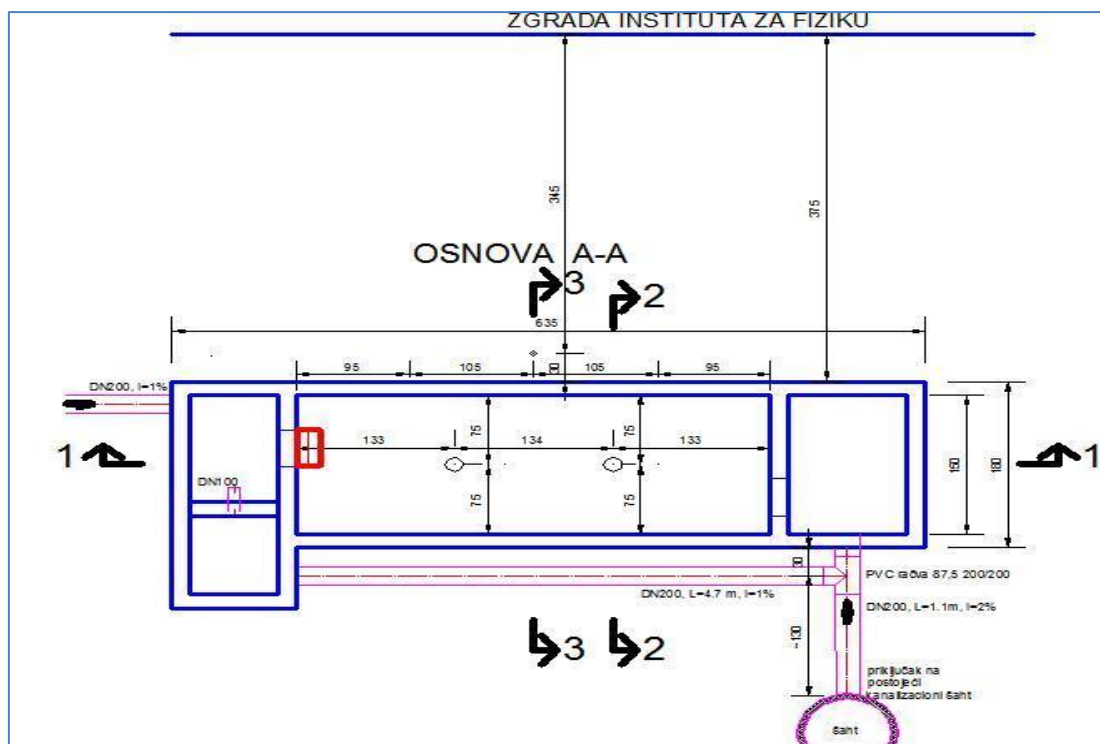
- Sonde 1 na dubini od 45 cm (1V i 1T)
- Sonde 2 na dubini od 30 cm (2V i 2T)
- Sonde 3 na dubini od 15 cm (3V i 3T)

Sonde istog tipa nisu postavljane u vertikali, već je između njih pravljen razmak od približno 120° u horizontalnom pravcu. Pre postavljanja sonde proverena je njihova ispravnost uspomoc unimera, ali je greškom izostavljena sonda 3V. Nakon postavljanja sonde na pojedinim dubinama zemljište je nabijeno tako da što bolje oponaša prirodno stanje tla. Sa postojećom opremom nije bilo moguće izbušiti još rupa, pa je nabavljena nova oprema sa Katedre za mehaniku tla (na Slici 5 je prikazan detalj radova na ugradnji sonde).

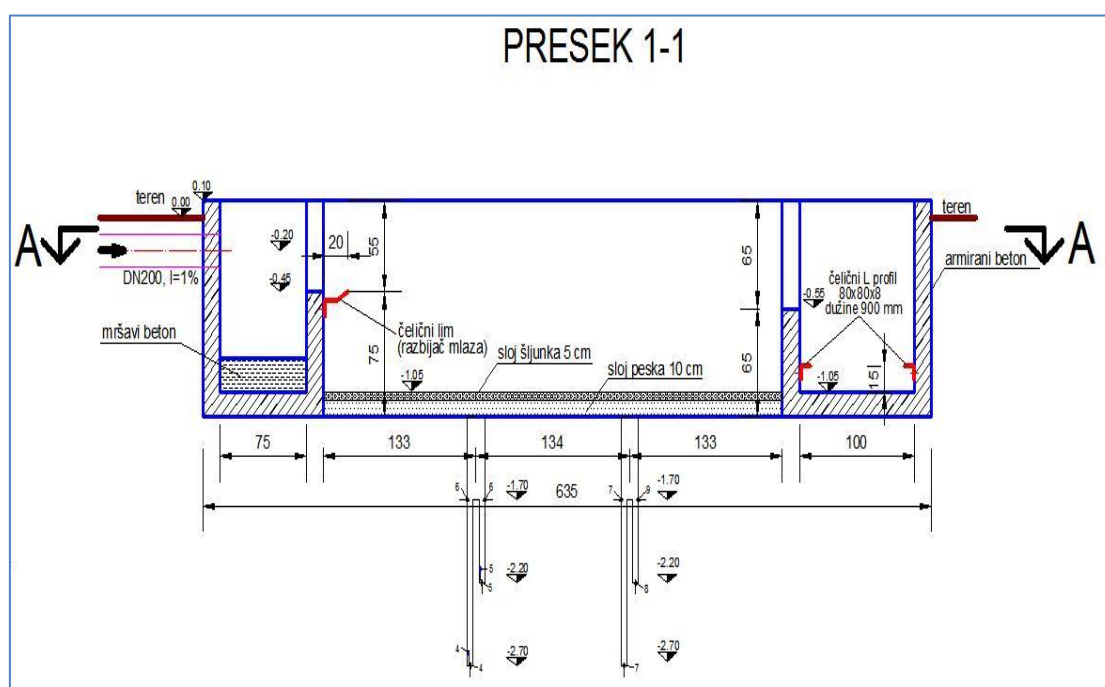


Slika 5: Detalj radova

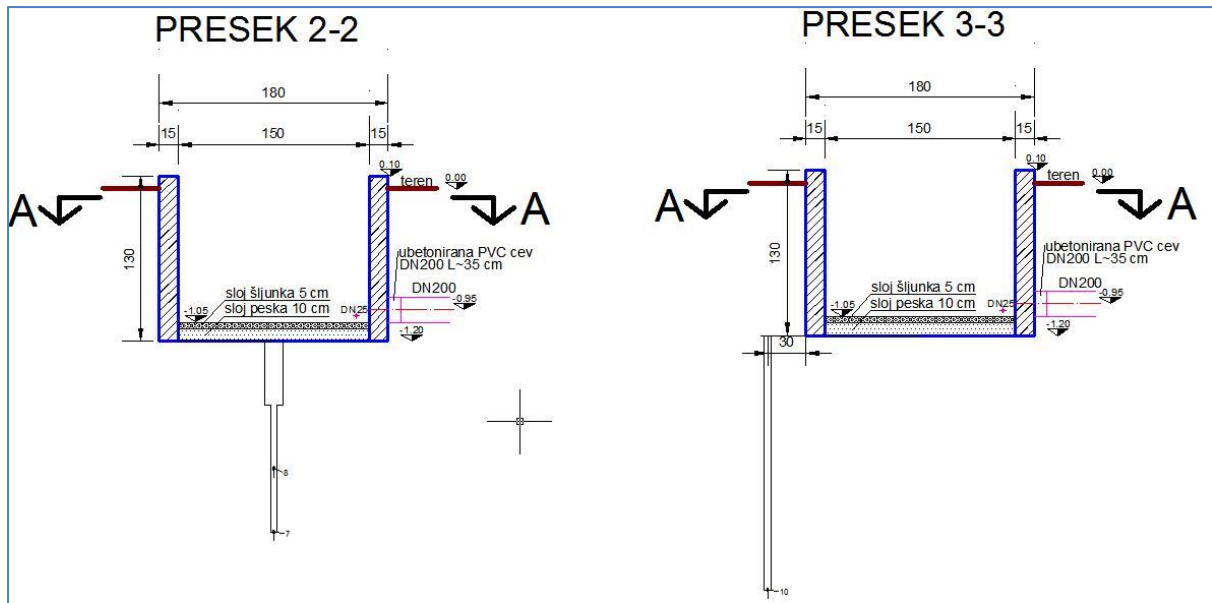
Ugradnja sondi nastavljena je sredinom novembra 2013. i to u samom infiltracionom bazenu (na situacionom planu označeno sa 3 i 4), kao i neposredno pored (na mestu 2). Na sledećim slikama prikazana je osnova eksperimentalnog bazena (Slika 6), podužni (Slika 7), kao i dva poprečna preseka (Slika 8).



Slika 6: Osnova infiltracionog bazena



Slika 7: Podužni presek infiltracionog bazena



Slika 8: *Poprečni preseki infiltracionog bazena*

Sonde su na označenim mestima ugrađene na sledeći način:

- **Bušotina 2:** Nalazi se na 30 cm od ivice bazena najbliže zgradi Zavoda. Dubina je 200 cm, a prečnik oko 5 cm. Ovde je postavljena jedna sonda za vlažnost oznake 10V i to u vertikalnom položaju na dubini od 200 cm. To je izvedeno uspomoc specijalno oblikovane metalne šipke prikazane na Slici 9.



Slika 9: *Alat za vertikalno postavljanje sonde*

- **Bušotina 3:** Nalazi se u infiltracionom bazenu, na 133 cm levo od ivice bazena po dužini i na 75 cm po širini. Dubina iznosi 150 cm, a prečnik približno 15 cm. Sonde za vlažnost i temperaturu 4V i 4T postavljene su na 150 cm dubine vertikalno, 5V i 5T na 100 cm vertikalno (sonde za temperaturu su neposredno iznad sonde za vlagu). Sonde 6V i 6T postavljene su na 50 cm dubine horizontalno jedna nasuprot drugoj.
- **Bušotina 4:** Nalazi se u infiltracionom bazenu, na 133 cm desno od ivice bazena po dužini i na 75 cm po širini. Dubina iznosi 150 cm, a prečnik približno 15 cm. Sonda vlažnost 7V na 150 cm dubine vertikalno, 8V na 100 cm vertikalno, a sonde 9V na 50 cm dubine horizontalno. Postavljena je i jedna sonda za temperaturu 7T na dubini od 50 cm horizontalno, nasuprot 9V.

5. Postavljanje opreme za monitoring

Oprema za monitoring postavljena je u podrumu hidrauličke laboratorije zbog ograničene dužine kablova sondi. Sastoji se iz tri logera proizvođača Vegetronix na koji su priključene sonde, a sve je izolovano u posebnim ormarićima (Slika 10). Kada je potrebno dobiti podatke merenja, logger se povezuje na računar, a potom se pokreće poseban softver HyperTerminal za kontinualno praćenje rezultata merenja. Softver u obliku tekstualnog fajla daje čitanja preko svih 8 portova, koliko ih poseduje jedan logger. Pri tom je moguće isključiti neaktivne portove, kao i odabrati vreme između dva merenja.



Slika 10: Kutije za smeštanje opreme

Logger-8-USB je relativno jednostavan uređaj sa 8 portova namenjenih za povezivanje mernih instrumenata (Slika 11). Potrebno je ispravno povezati sondu na logger da bi se dobili merodavni rezultati, pri čemu crvena žica označava napajanje, crna izlaz, a bela uzemljenje. Potencijalno kritično mesto uočeno pri kalibraciji ovih sondi je spoj žica i logera. Vremenom žice se raspletu i postoji problem održavanja kontakta, zbog čega se gubi veza izlaza iz sondi i logera što dovodi do potpuno pogrešnih očitavanja.



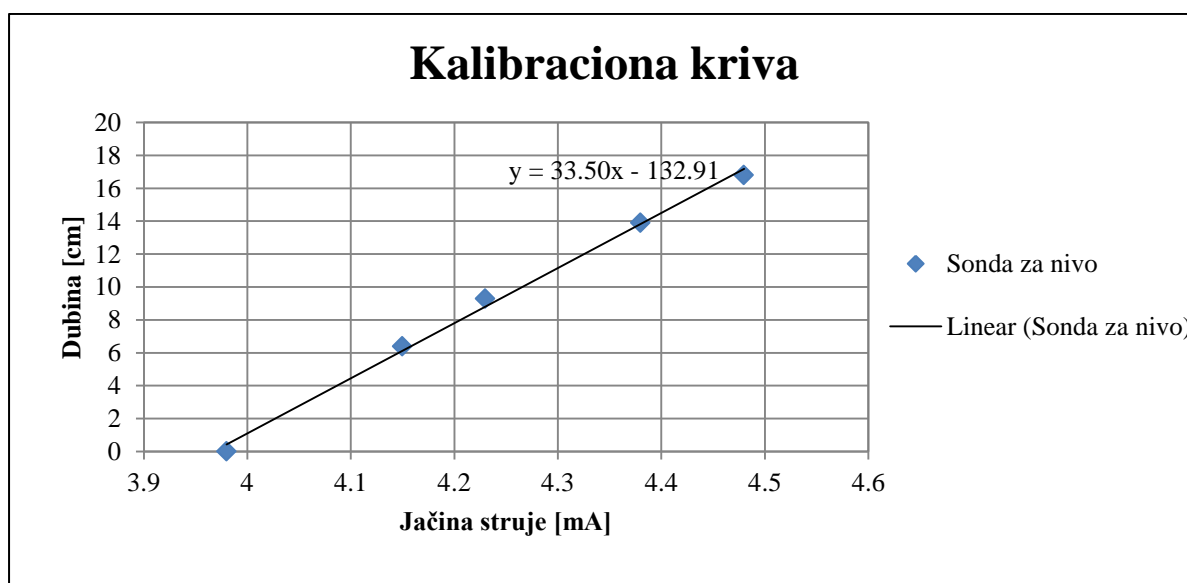
Slika 11: Način povezivanja sonde na logger

Logger poseduje USB izlaz kojim se povezuje sa računarom. Nakon pokretanja softvera HyperTerminal, neophodno je podesiti parametre logera kako bi se pristupilo merenjima. Prvo treba izabrati odgovarajući serijski port (prepoznata se kao novi kad se logger odveže pa poveže sa računarom). Sledeći korak je podesiti parametre brzine prenosa na 115200 i tip veze kao 8-N-1. Ovime je logger pravilno podešen i može se koristiti. On poseduje ograničenu memoriju koja se cirkularno popunjava. O tome treba voditi računa kod merenja, jer kada popuni memoriju logger kreće nove podatke da upisuje preko starih što može dovesti do gubitka važnih podataka. Zbog toga pri dugotrajnim merenjima treba periodično čuvati podatke na memoriju računara.

6. Nalivanje infiltracionog bazena

Ovaj deo zadatka obavljen je tek krajem decembra 2013. usled vremenskih uslova. Naime, da bi rezultati merenja bili što upotrebljiviji, uslov je da zemljište ne bude zasićeno. Iz ovog razloga, nalivanje bazena usledilo je tek nakon niza sunčanih i relativno toplih dana u cilju što intenzivnijeg isušivanja zemljišta.

Najpre se pristupilo kalibraciji sonde za merenje nivoa. Ovo je obavljeno na licu mesta, jer od potrebne opreme iziskuje samo dublju posudu zapremine oko 30 l. Princip rada sonde podrazumeva da se nivo tečnosti meri preko hidrostatičkog pritiska, koji se konvertuje u električni izlaz, odnosno jačinu električne struje. Preporuka proizvođača je da zavisnost nivoa i izlaza bude linearna, pri čemu nultom nivou odgovara jačina struje od 4 mA. Nivo je u ovom slučaju izjednačen sa dubinom u posudi. Na ovaj način, za pet različitih dubina, dobijena je kalibraciona kriva prikazana na Dijagramu 4.



Dijagram 4: Kalibracija sonde za nivo

Po kalibraciji sonde, usledilo je nalivanje bazena koje je trajalo oko 40 minuta, pri čemu se vodilo računa da protok bude konstantan. Protok se nakon 5-10 minuta od početka eksperimenta ustalio na vrednost 1,85-1,87 l/s (Slika 12). Nalivanje je prekinuto pri nivou vode u bazenu od 51,7 cm, odnosno dubini od 31,7 cm (nulti nivo je na 20 cm dubine).

Neposredno nakon prekida protoka, pristupilo se zapisivanju rezultata merenja i to tako što je za svaku očitavanu dubinu u bazenu, zabeležena i vrednost izlaznog signala sonde (Slika 14). Ovaj postupak je ponavljan na svakih 15 minuta u periodu od 11:00 do 15:30 h, kada se moglo smatrati da se sva voda infiltrirala u bazenu.



Slika 12: Uređaj za merenje protoka



Slika 13: Uređaj za čitanje signala sa sonde za nivo

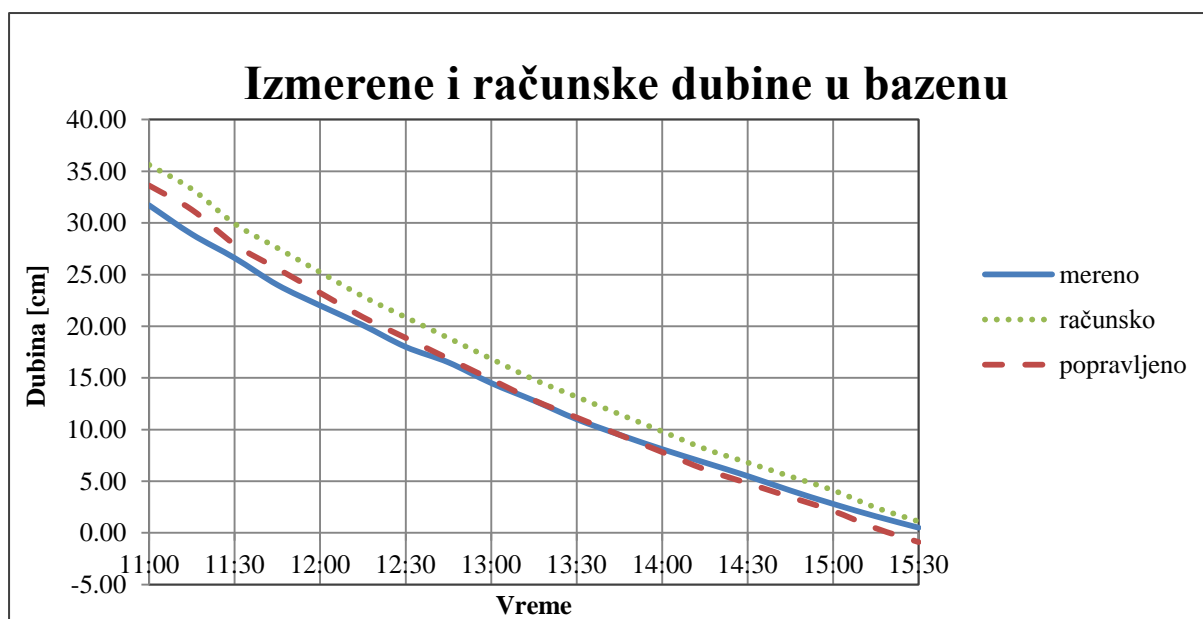
Istovremeno, preuzeti su i rezultati merenja sonde za vlažnost i temperaturu zemljišta, koji će biti predstavljeni u narednom poglavlju.

7. Analiza i diskusija rezultata merenja

Rezultati merenja nivoa prikazani su u Tabeli 3 i na Dijagramu 5. Kao što se vidi, postoji znatno odstupanje izmerenih i računskih dubina. Uočeno je da su računске vrednosti u proseku translirane za 2 cm naviše, pa je usvojeno da je ovo posledica loše kalibracije. Zbog toga je transformisana kalibraciona kriva, pa umesto $y = 33,50x - 132,91$ koristimo $y = 33,50x - 134,91$. Ovako dobijeni rezultati bolje su raspoređeni u odnosu na merene vrednosti, pa su odstupanja uglavnom manja od 1,5 cm.

vreme	signal [A]	meren nivo [cm]	merena dubina [cm]	računska dubina [cm]	popravljen rač. [cm]
11:00	5,03	51,70	31,70	35,61	33,61
11:15	4,96	48,90	28,90	33,27	31,27
11:30	4,86	46,60	26,60	29,92	27,92
11:45	4,79	44,00	24,00	27,57	25,57
12:00	4,72	42,00	22,00	25,23	23,23
12:15	4,65	40,10	20,10	22,88	20,88
12:30	4,59	38,00	18,00	20,87	18,87
12:45	4,53	36,50	16,50	18,86	16,86
13:00	4,47	34,50	14,50	16,85	14,85
13:15	4,41	32,80	12,80	14,84	12,84
13:30	4,36	31,00	11,00	13,17	11,17
13:45	4,31	29,50	9,50	11,49	9,49
14:00	4,26	28,10	8,10	9,82	7,82
14:15	4,21	26,80	6,80	8,14	6,14
14:30	4,17	25,50	5,50	6,80	4,80
14:45	4,13	24,10	4,10	5,46	3,46
15:00	4,09	22,80	2,80	4,12	2,12
15:15	4,04	21,60	1,60	2,45	0,45
15:30	4,00	20,50	0,50	1,11	-0,89

Tabela 3: Rezultati merenja dubine



Dijagram 5: Rezultati merenja dubina

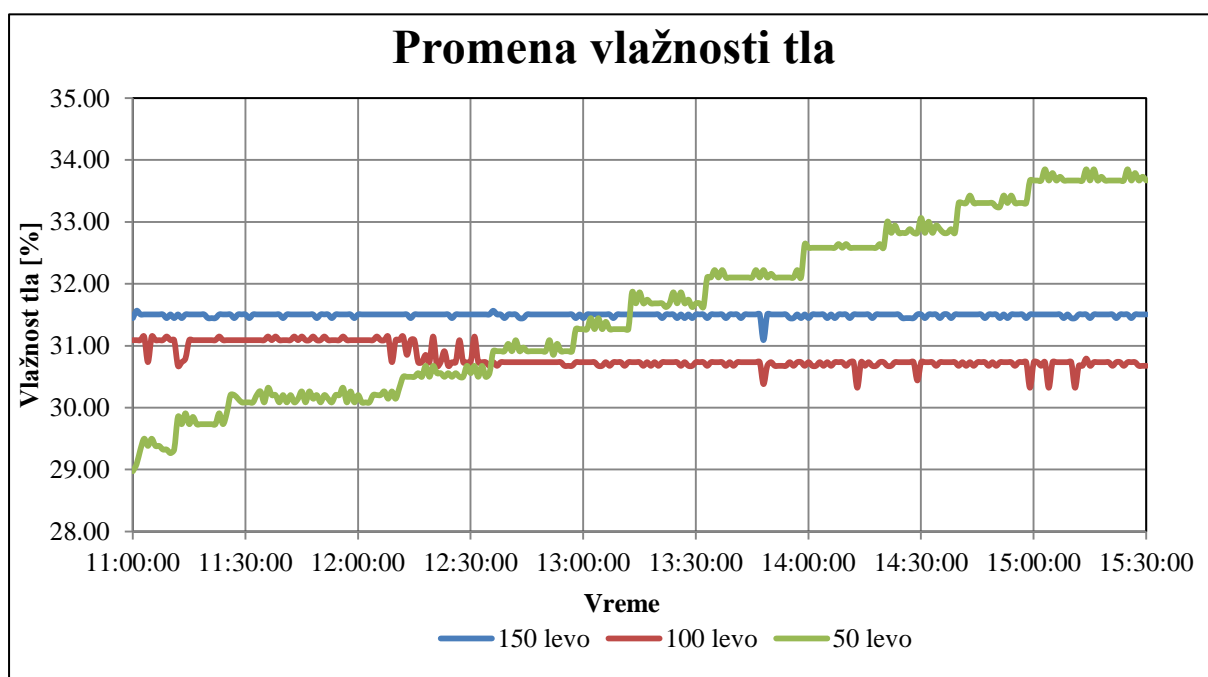
Rezultati merenja vlažnosti i temperature tla preuzeti su pomoću već pomenutog softvera, sa 3 logera na koji su priključeni merni uređaji (Slika 13) i to po sledećoj šemi:

Loger 1		Loger 2		Loger 3	
port	uređaj	port	uređaj	port	uređaj
1	4V	1	7V	1	1V
2	5V	2	8V	2	2V
3	6V	3	9V	3	3V
5	4T	4	7T	6	1T
6	5T			7	2T
7	6T			8	3T

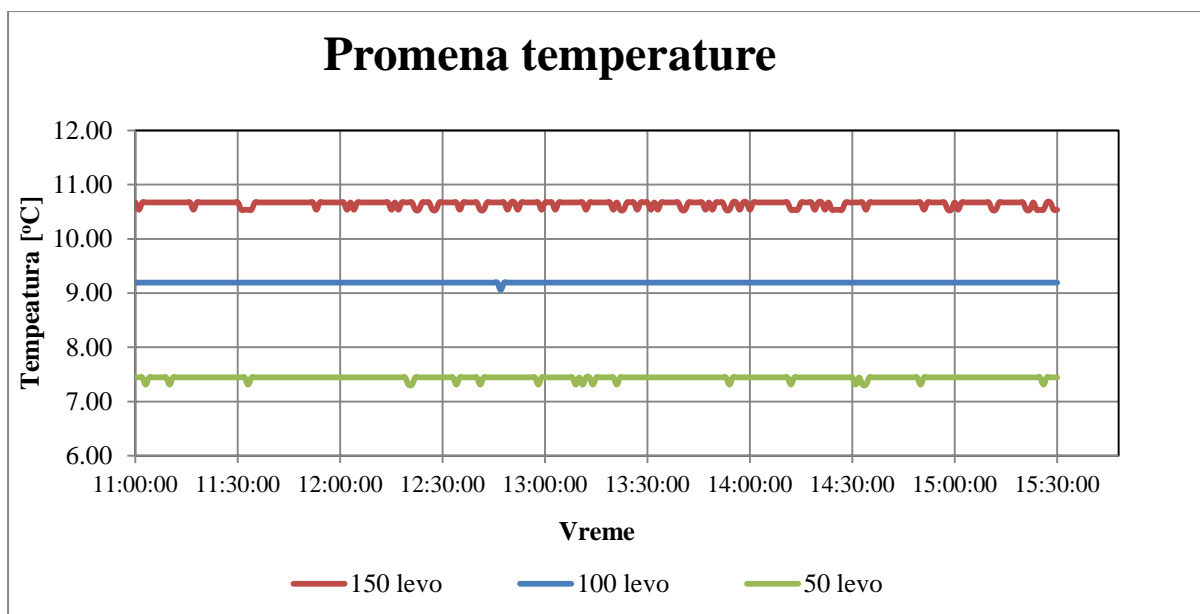
Loger 1:

Na sledećim Dijagramima 6 i 7 prikazani su rezultati merenja. Uočava se promena vlažnosti od 5 % za najpliće postavljenu sondu u bazenu 6V, što je prema očekivanjima. Najdublja sonda 4V praktično ne reaguje na infiltraciju, dok se kod sonde 5V uočava neznatan pad vlažnosti, suprotno očekivanjima, a to može biti posledica nekih nailazećih smetnji.

Rezultati merenja temperature su razočaravajući, jer sonde ne pokazuju nikakvu promenu. Očekivano je da sonda 6T pokaže porast temperature, koja je posledica infiltracije vode u hladniju sredinu.



Dijagram 6: Promena vlažnosti tla – bušotina 3

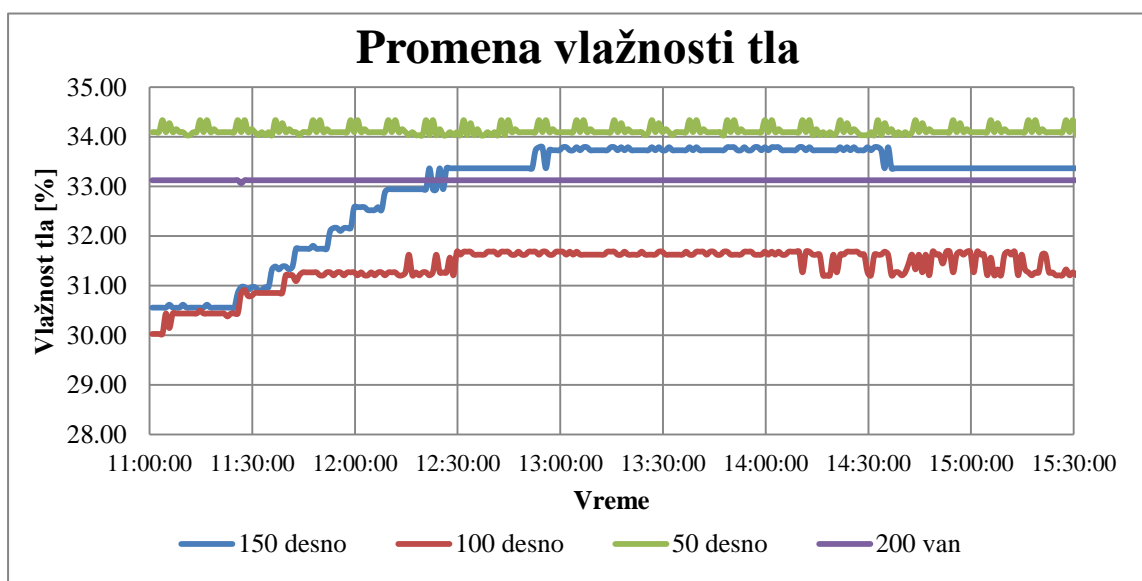


Dijagram 7: Promena temperature tla – bušotina 3

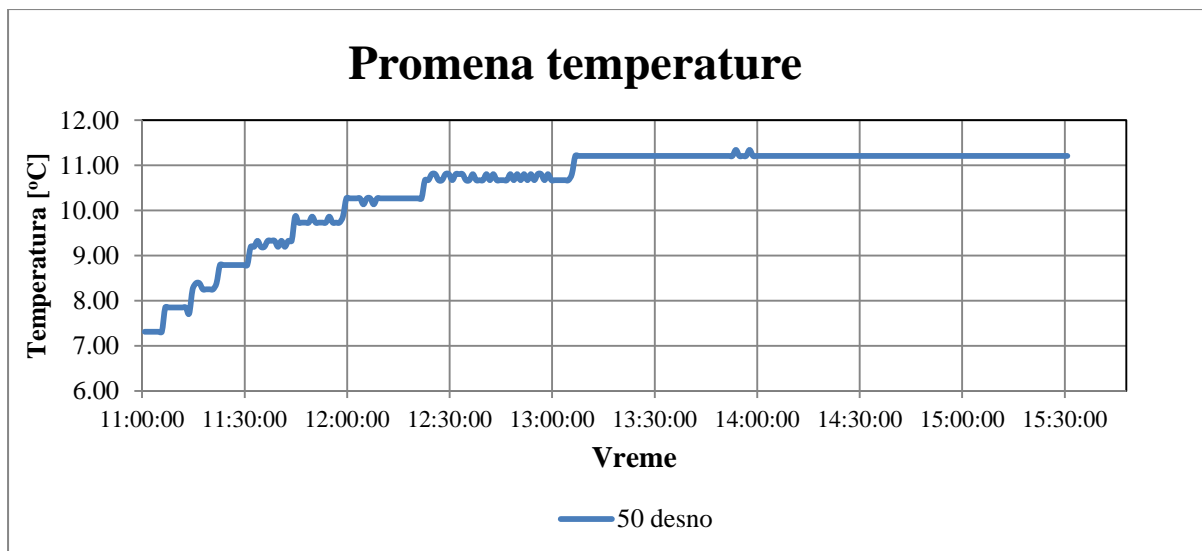
Loger 2:

Na Dijagramima 8 i 9 prikazani su rezultati merenja. Pokazuje se velika nelogičnost u rezultatime gde najbliže ukopana sonda 9V ne reaguje na infiltraciju, što se eventualno može objasniti činjenicom da je zemljište zasićeno. Nasuprot tome, ona na 150 cm, 7V, pokazuje porast vlage za 3 %. Sonda koja je izvan bazena na dubini od 200 cm, 10V, nije pod uticajem vlažnog fronta, što se i očekivalo. Sonda 8V pokazuje porast vlage za oko 1,5 %.

Sonda za temperaturu 7T pokazuje zadovoljavajuće i očekivane rezultate porasta temperature tla za oko 4 °C.



Dijagram 8: Promena vlažnosti tla – bušotine 2 i 4

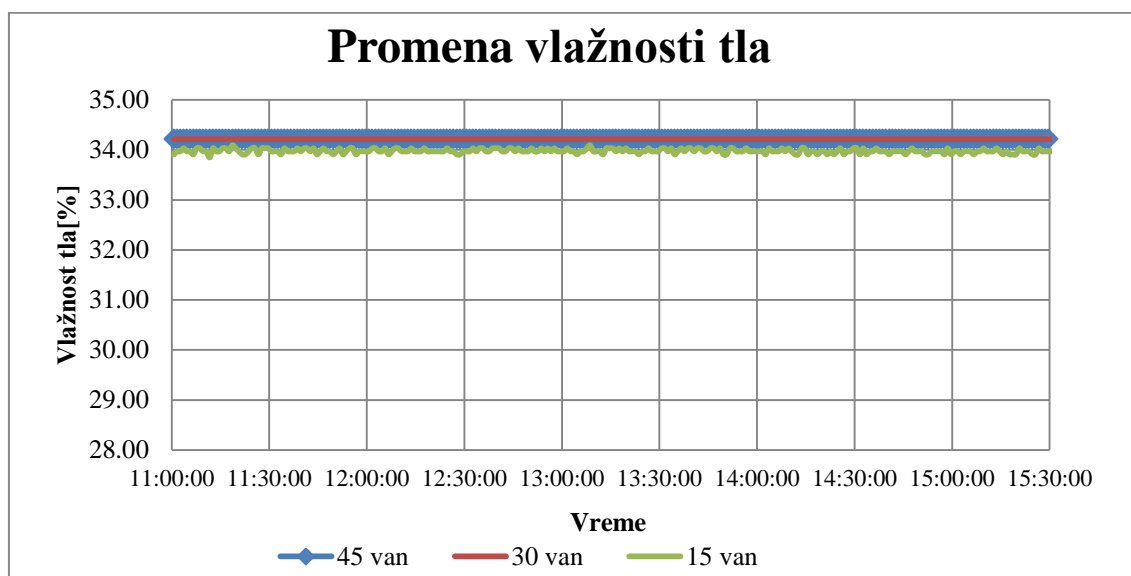


Dijagram 9: Promena temperature tla – bušotina 4

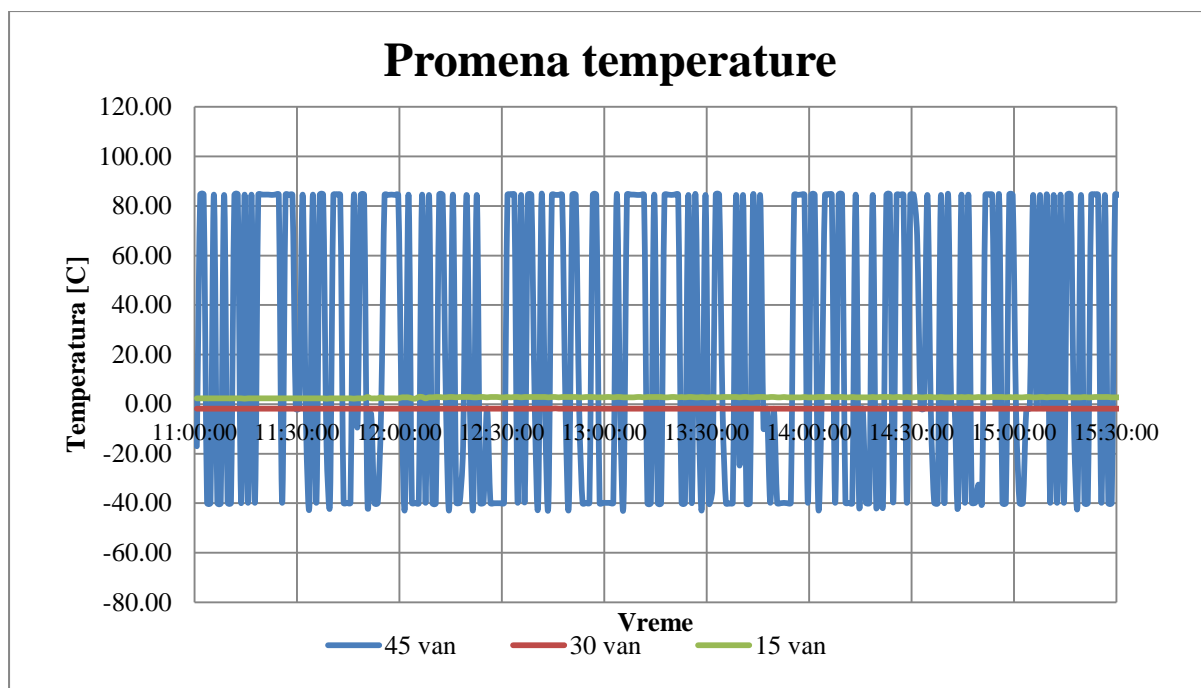
Loger 3:

Na Dijagramima 10 i 11 prikazani su rezultati merenja. Sonde su na većoj udaljenosti od bazena i ne pokazuju promene vlažnosti ni temperature tla. Sonda na dubini od 15 cm, 3V, pokazuje oscilovanje vlage oko vrednosti od 34 % za 0,10 % što predstavlja šum.

Što se tiče temperatura, iako se ne menjaju, iznenađujuće su niske. Sonda 2T na 30 cm pokazuje konstantnu temperaturu od -1,83 °C, a 3T na 15 cm temperaturu od 2,34 °C. Ove vrednosti nisu očekivane, budući da je temperatura vazduha bila viša od 10 °C. Sonda 1T pokazuje granične vrednosti, a uzrok tome može biti loše povezivanje uređaja na loger, kao što je već pomenuto.



Dijagram 10: Promena vlažnosti tla – bušotina 1



Dijagram 11: Promena temperature tla – bušotina 1

8. Zaključak i predlog za dalji rad

Kao što se vidi na prethodnim dijagramima većina dobijenih rezultata nije upotrebljiva. Problem možda leži u tome da su eksperimenti obavljani u zimskom periodu kada je zemljište pretežno zasićeno vodom i ne može željeno da reaguje na infiltraciju. Predlog je da se nalivanje bazena ponovi u proleće ili početkom leta, pod uslovom da ne bude kišovito.

Takođe, postoji velika nelogičnost kod čitanja logera 2. Najdublje postavljena sonda za vlagu reaguje onako kako bi trebalo najplića i obrnuto. Moguće je da je napravljena gruba greška pri obeležavanju portova i uređaja, što je potrebno proveriti.

Sonde za temperaturu su, izuzev, jedne, pokazale neočekivane rezultate, a jedna od njih je gotovo sigurno loše povezana na loger, što takođe treba proveriti i otkloniti.

Ovim merenjima nije se došlo do podataka koji bi bili korisni za kvalitativnog opisa tla, u prvom redu, prostiranja vlažnog fronta pri infiltraciji, ali je urađen značajan deo posla i postavljeni su dobri temelji za buduće radove naših kolega.

9. Literatura

1. <http://vegetronix.com/Products/VH400/>
2. Prodanović, D., Predavanja iz predmeta Merenja u hidrotehnici, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu
3. Stojinović P., Eksperimentalno određivanje parametara za proračun vertikalne infiltracije, Diplomski rad, Beograd
4. Ivetić D., Opis i kalibracija sonde za vlažnost VH400 proizvođača VEGETRONIX, Seminarski rad, Beograd
5. Prodanović V., Sistem za infiltraciju kišnice na urbanom slivu u Beogradu, Naučni rad, Beograd