

# Terenski istražni radovi u svrhu izgradnje bioplinskog postrojenja Donjeg Vidovca

---

**Dregarić, Silvestar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:264460>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



# Terenski istražni radovi u svrhu izgradnje bioplinskog postrojenja Donjeg Vidovca

---

**Dregarić, Silvestar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:264460>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2020-11-04**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

SILVESTAR DREGARIĆ

TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI U SVRHU  
IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA  
DONJEG VIDOVCA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI U SVRHU  
IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA  
DONJEG VIDOVCA

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:

Silvestar Dregarić

MENTOR:

Izv. prof. dr. sc. Stjepan Strelec

VARAŽDIN, 2017.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

**Terenski istražni radovi u svrhu izgradnje bioplinskog postrojenja Donjeg  
Vidovca**

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Stjepana Streleca.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljeni način, odnosno prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovanoj ustanovi.

U Varaždinu, 26.06.2017.

Silvestar Dregarić

(Ime i prezime)

*Silvestar Dregarić*

(Vlastoručni potpis)

## **SAŽETAK RADA**

**Autor:** Silvestar Dregarić

**Naslov rada:** Terenski istražni radovi u svrhu izgradnje bioplinskog postrojenja Donjeg Vidovca

U radu su obrađeni geotehnički istražni radovi, koji su provedeni na lokaciji u Donjem Vidovcu, kako bi se utvrdio raspored, debljina i svojstava pojedinih slojeva ispod površine terena. Izvedena su istražna bušenja uz jezgrovanje, a po završetku bušenja provedena je terenska identifikacija i USC klasifikacija nabušene jezgre. Uzeti su uzorci tla za laboratorijske analize kako bi se utvrdila fizikalna i mehanička svojstva tla, a neka od tih svojstava određena su pomoću „in situ“ metoda. Geoelektrična su istraživanja provedena s ciljem što kvalitetnijeg determiniranja geoloških naslaga, određivanja dubina zalijeganja i debljina pojedinih slojeva, dok se seizmičkim metodama pomoću brzine posmičnih valova odredila krutost materijala.

**KLJUČNE RIJEČI:** Geotehnički istražni radovi, terenska ispitivanja, geofizička istraživanja

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI.....	2
3. VRSTE ISTRAŽIVANJA .....	5
3.1. ISTRAŽNO BUŠENJE.....	5
3.2. TERENSKA ISPITIVANJA TLA.....	7
3.2.1. Standardni penetracijski pokus (SPT).....	7
3.2.2. Teška udarna sonda (DPH).....	10
3.2.3. Piezometri .....	12
3.3. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA .....	13
3.4. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA .....	16
3.4.1. Geoelektrično sondiranje (VES).....	18
3.4.2. Geoelektrična tomografija .....	19
3.4.3. Seizmička refrakcija .....	21
3.4.4. Višekanalna analiza površinskih valova .....	22
4. REZULTATI ISPITIVANJA .....	23
4.1. ISTRAŽNA BUŠENJA I TERENSKA ISPITIVANJA TLA .....	23
4.2. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA .....	28
4.3. GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE TEMELJNOG TLA .....	30
4.4. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA .....	33
4.4.1. Geoelektrično sondiranje (VES).....	33
4.4.2. Geoelektrična tomografija .....	34
4.4.3. Seizmička refrakcija .....	36
4.4.4. Višekanalna analiza površinskih valova .....	37
5. ZAKLJUČAK.....	39
6. POPIS LITERATURE.....	41
Popis slika.....	42
Popis tablica.....	43
Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu .....	43
GRAFIČKI PRILOZI .....	44

## 1. UVOD

U svrhu izgradnje bioplinskog postrojenja u Donjem Vidovcu bilo je potrebno izraditi geotehnički elaborat za potrebe temeljenja bioplinskog postrojenja. Za potrebe izrade elaborata izvedeni su geotehnički istražni radovi kroz terenske istražne radove provedbom geoistražnih bušotina i dinamičkim sondiranjem (DPH), te laboratorijskim i geofizičkim ispitivanjima. Svrha istražnih radova bila je dobivanje uvida u sastav i geotehničke značajke temeljne podloge.

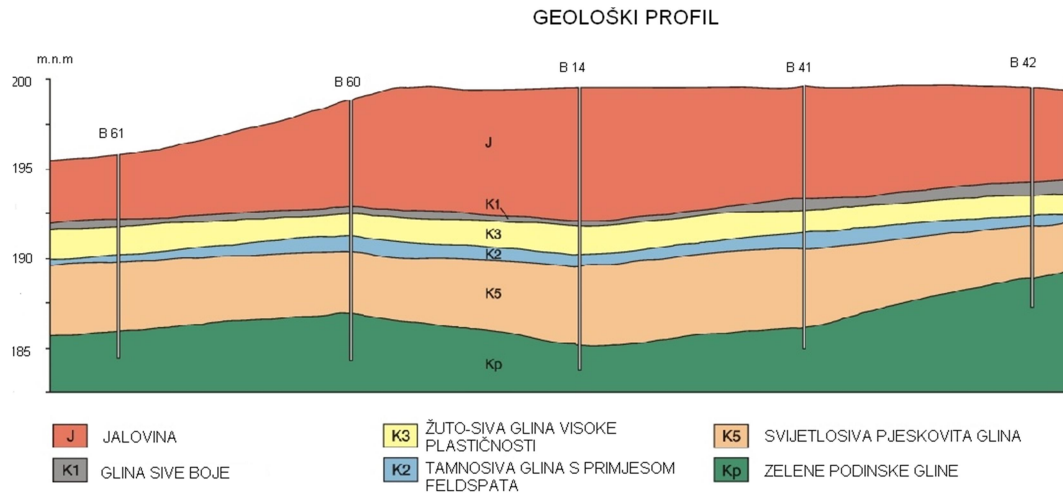
U ovom radu prezentirani su istražni radovi za potrebe temeljenja bioplinskog postrojenja – in situ i laboratorijski, počevši sa geotehničkim ispitivanjima, preko laboratorijskih ispitivanja (iz poremećenih i neporemećenih uzoraka iz istražnih bušotina radi utvrđivanja fizikalnih i mehaničkih svojstva tla), te do geofizičkih istraživanja. Programom istraživanja predviđena je i izbušena dvadeset i jedna (21) istražna bušotina, do maksimalne dubine 35 m, te dvanaest (12) kontinuiranih dinamičkih sonde (DPH) dubine 10,0 do 20 m prema DIN 4094 standardu. Geofizička ispitivanja provedena su metodom geoelektričnog sondiranja, geoelektrične tomografije, te plitke seizmičke refrakcije (RF) i višekanalne analize površinskih valova (MASW) (Strelec, 2011). Osim samih istražnih radova, prezentirani su i rezultati ispitivanja tla. Prikazan je i litološki opis (litološki raspored slojeva tla nastao identifikacijom materijala iz sondažnih bušotina).



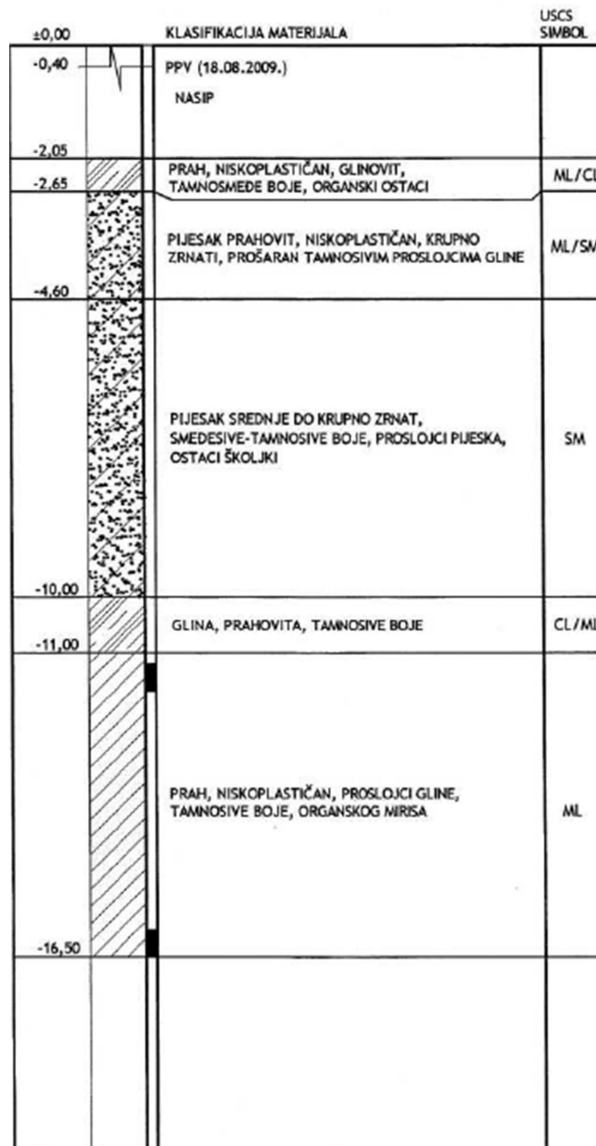
## 2. GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI

Geotehničke istražne radove čini skup postupaka prikupljanja i obrade odgovarajućih podataka o tlu na mjestu buduće građevine i njene bliže okoline, nužan za njeno ispravno i ekonomično projektiranje, izvođenje i uporabu. Mogu se podijeliti na terenske i laboratorijske, ovisno o mjestu provođenja (započinju na terenu (in situ), a nastavljaju se u laboratoriju). Istražni radovi u geotehnici služe za utvrđivanje rasporeda, debljine i svojstava pojedinih slojeva ispod površine terena na kojem je predviđeno izgraditi građevinu, a pri tom obuhvaćaju metode istraživanja iz područja mehanike tla, mehanike stijena i inženjerske geologije. Istražnim radovima se utvrđuje stanje površinskih dijelova tla i stijenske mase.

Cilj inženjersko-geoloških istražnih radova je izrada geoloških profila (Slika 1.), u kojima su materijali razvrstani prema nekom klasifikacijskom sustavu te su istaknuta njihova bitna svojstva. Geotehnički profil tla je pojednostavljeni model prostorne raspodjele onih svojstava tla, prvenstveno mehaničkih, koja bitno utječu na stabilnost, uporabivost i ekonomičnost razmatrane građevine i njene okoline tijekom izvođenja građevinskih radova i tijekom životnog vijeka građevine. Najčešće se rezultati terenskih i laboratorijskih ispitivanja dokumentiraju u geotehničkom izvješću (elaboratu). Za svaku se istražnu bušotinu, osim opisa i tablica, izvodi tzv. sondažni profil (Slika 2.) u kojem su rezultati istraživanja pregledno prikazani. Na temelju sondažnih profila izrađuje se već spomenuti geotehnički profil kojim se dvodimenzionalno prikazuje raspodjela slojeva, razina podzemne vode, odabrana svojstva materijala relevantna za određenu vrstu problema itd. Opseg istražnih radova definiran je regulativom *Eurocode 7*, a ovisi o složenosti geoloških uvjeta u tlu, složenosti geotehničkog zahvata, složenosti konstrukcije, namjeni i utjecaju na okoliš (Strelec, 2012).



Slika 1. Primjer geološkog profila (Strelec, 2012)



Slika 2. Primjer sondažnog profila (Roje-Bonacci, 2012)

Istražni radovi izvode se temeljem prethodno napravljenog programa (plana) koji je sastavni dio ponude. Da bi se izradio program istražnih radova potrebno je raspolagati s odgovarajućom situacijom terena (topografskom kartom u mjerilu koja odgovara veličini tlocrta građevine). Program istražnih radova sadrži broj i predviđa dubinu bušotina, broj i dubinu istražnih jama i/ili potkopa. Propisuje učestalost uzimanja neporemećenih uzoraka i/ili ispitivanja zbijenosti dinamičkim penetracijskim pokusom u bušotinama. Približno predviđa broj i vrstu laboratorijskih ispitivanja i terenskih ispitivanja koja nisu ovisna o bušačem stroju.

Uz bušenje često se u tijeku terenskih istražnih radova koriste i ostale in situ metode (terensko ispitivanje vodopropusnosti, ispitivanje tlačnim jastukom, SPT, CPT i DPH, ispitivanje presiometrom i dilatometrom, ispitivanje krilnom sondom, geofizička ispitivanja, itd). Te metode sve češće zauzimaju mjesto u programima geotehničkih istražnih radova, prvenstveno zahvaljujući naprednoj tehnici ispitivanja i interpretacije, razumno jeftinom i brzom ispitivanju te postojećem iskustvu u njihovu korištenju, no ipak treba razmotriti prikladnost i primjenjivost pojedine metode za ispitivanje u određenoj vrsti tla, kako bi bili dobili željene i iskoristive rezultate (Look, 2014). Iskoristivost pojedinog tipa pokusa vidimo u tablici 1.

Tablica 1. Iskustvena ljestvica iskoristivosti pojedinog tipa pokusa prema bodovanju od 1 do 5 (Prema preporuci IGH)

VRSTA ISPITIVANJA	USPJEŠNOST ODREĐIVANJA															
	SASTAV TLA				ČVRSTOĆA				DEFORMABILNOST				KONSOLIDACIJA			
Bušenje s laboratorijem																
Geofizička ispitivanja																
CPT – statička penetracija																
SPT – standardna penetracija																
DMT – dilatometar Marchetti																
MP – presiometar Menard																
KS – krilna sonda																
Presiopermeametar																

### 3. VRSTE ISTRAŽIVANJA

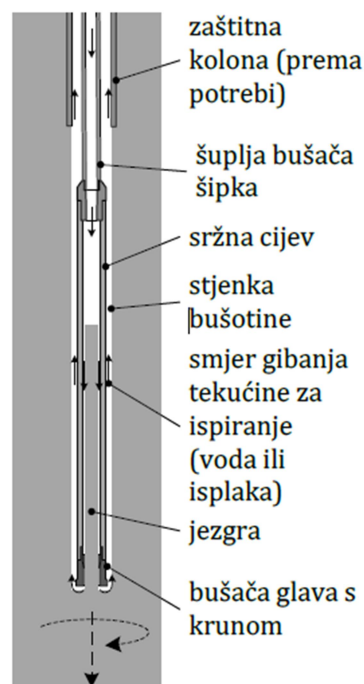
Na lokaciji u Donjem Vidovcu istražni radovi provedeni su sa ukupno dvadeset i jednom (21) istražnom bušotinom, dvanaest (12) DPH sondi, jednom (1) geoelektričnom sondom, četiri (4) geoelektrična profila i tri (3) seizmička profila (RF i MASW). Položaj istražnih radova u odnosu na tlocrtnu situaciju prikazan je na situacijskom planu (Prilog 1). Bušenje bušotina izvedeno je motornom rotacijskom bušilicom uz kontinuirano jezgrovanje. Uz geomehaničko bušenje provedeno je i dinamičko sondiranje SPT standardom u bušotinama. Po završetku bušenja provedena je terenska identifikacija i USC klasifikacija nabušene jezgre. Pored terenskih pokusa (SPT) iz geomehaničkih istražnih bušotina uzeti su poremećeni uzorci za laboratorijske analize, odnosno za utvrđivanje fizikalnih i mehaničkih svojstva tla. Za potrebe praćenja razine podzemne vode na istražnom prostoru Donji Vidovec, izbušena su i ugrađena 3 piezometra. Dva piezometra (**P-2 i P-3**) ugrađena su do dubine 10 metara, te jedan piezometar (**P-1**) do dubine 15 metara.

#### 3.1. ISTRAŽNO BUŠENJE

Bušenje je postupak prodiranja bušačeg pribora u tlo ili stijenu do određene dubine. Dubina bušenja treba dosegnuti zonu tla u kojoj se ne očekuju znatnije promjene naprezanja i pojave deformacija izgradnjom objekta, ako se rade istraživanja za temeljenje objekta. Istražne se bušotine izvode radi utvrđivanja rasporeda pojedinih slojeva tla i dobivanja uzoraka za ispitivanje u laboratoriju. Tijekom postupka bušenja potrebno je registrirati razinu podzemne vode u svim fazama bušenja. Nakon svih terenskih ispitivanja mogu se u bušotine ugraditi piezometri za kasnije praćenje razina podzemnih voda. Na konkretnom primjeru bušenje je izvedeno motornom rotacijskom bušilicom uz kontinuirano jezgrovanje.

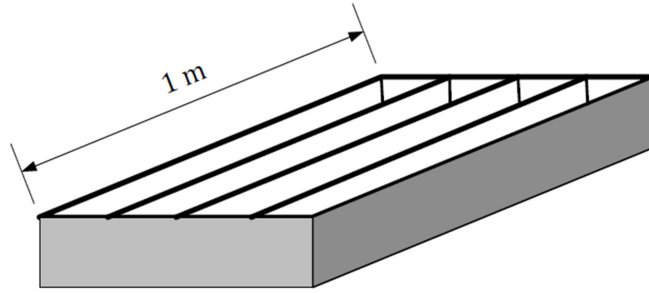
Rotacijsko bušenje ili bušenje jezgrovanjem najčešće se koristi u stijeni, ali je moguća njegova primjena i u tlu. Bušači alat, koji je pričvršćen na niz šupljih bušačkih šipki, može biti puno svrdlo ili šuplje svrdlo za jezgrovanje. Alat se strojno rotira i hidraulički

utiskuje s površine terena pomoću šupljih bušaćih šipki (Slika 3.). Na dnu šipki pričvršćena je posebna jezgrena cijev na čijem je dnu šuplja bušača glava s krunom. Kruna je nazubljeni alat, čiji su zubi izrađeni od posebno obrađenog čelika (vidija) ili industrijskih dijamanta koji su otporni na habanje. Kroz bušaću šipku i jezgrenu cijev utiskuje se voda, koja hladi pribor ugrijan od rada, a iznosi strugotine ispod krune kroz bušotinu do površine terena, s vanjske strane bušaćih šipki. Kao i kod drugih metoda bušenja, bušotina se može zaštititi zaštitnom cijevi (kolonom) od urušavanja kada prolazi kroz pijesak ili šljunak, ili od istiskivanja kada prolazi kroz slojeve meke gline. U jezgrenoj cijevi ostaje jezgra tla u obliku svijeće (Szavits-Nossan, 2006).



Slika 3. Bušenje s jezgrovanjem, jezgrovanje s jednostrukom jezgrenom (sržnom) cijevi (Szavits-Nossan, 2006)

Jezgra iz jezgrene cijevi odlaže se u posebne drvene sanduke (Slika 4.) radi daljnjeg pregleda i uzimanja uzoraka tla za ispitivanje u laboratoriju te se izrađuje fotodokumentacija. Dobiveni uzorci smatraju se poremećenima za potrebe ispitivanja krutosti i čvrstoće tla, ali ako su odmah po vađenju iz tla zaštićeni i poslani u laboratorij, vrlo dobro mogu poslužiti za izvođenje onih laboratorijskih pokusa koji nisu ovisni o pregnečenju (prirodna vlažnost, granice konzistentnih stanja – Atterbergove granice, granulometrijski sastav, Proctorov pokus itd.)



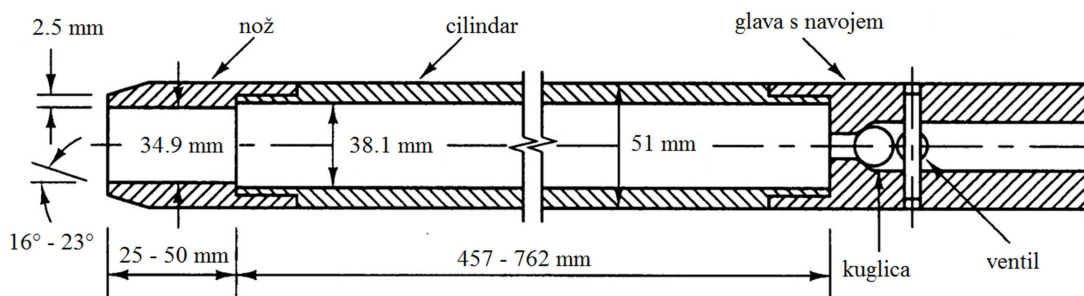
Slika 4. Drveni sanduk za odlaganje jezgre iz jezgrene cijevi (Szavits-Nossan, 2006)

### 3.2. TERENSKA ISPITIVANJA TLA

Iz nekih je materijala praktički nemoguće izvaditi neporemećeni uzorak. To su prvenstveno šljunci, a djelomično i pijesci. Zbog toga se mehanička svojstva takvih materijala određuju uglavnom posredno, tj. na osnovi rezultata terenskog pokusa zaključuju se svojstva i parametri tla kao što su modul stišljivosti, čvrstoća itd. In situ (na licu mjesta) ispitivanja omogućavaju ispitivanje terena na samoj lokaciji predviđenoj za gradnju, a ovise o vrsti i dimenzijama budućeg objekta i osobinama terena na kojem se građenje predviđa.

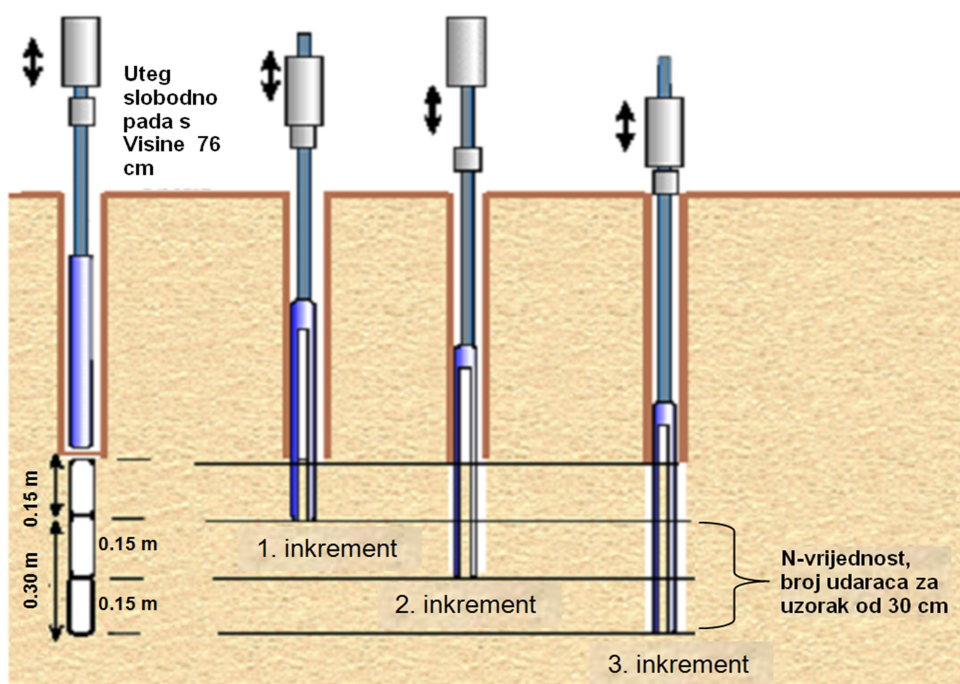
#### 3.2.1. Standardni penetracijski pokus (SPT)

Ovaj se pokus izvodi u bušotini izbušenoj rotacijskom metodom bušenja, spiralnim svrdlima ili metodom bušenja s isplakom. Oprema za provođenje pokusa sastoji se od bušaćih šipki, koje za dubine do 15 m imaju masu od oko 6 kg/m, a za veće dubine oko 8 kg/m; utega od 63,5 kg (622,3 N) na vodilici s mehanizmom za dizanje na visinu od 76,2 cm i spuštanje, da bi se postiglo prodiranje od 30,48 cm; dvodijelnog cilindra s nožem za uzimanje uzorka, vanjskog promjera 51 mm, unutrašnjeg 35 mm i dužine 68,6 cm (Slika 5.) ili punog konusnog šiljka pod kutem od 60°, promjera 51 mm. Cilindar se postavlja na dno bušotine, a preko šipki je spojen s površinom.



Slika 5. Cilindar za SPT standardnih dimenzija prema ASTM (Matešić, 2010)

Standardno se primjenjuje izvođenje SPT-a na svakih 1,5 m dubine. Na očišćeno dno bušotine se spuštaju bušaće šipke sa odabranim nastavkom (nož ili konus). Uteg se diže na visinu od 760 mm s koje se pušta da gravitacijski pada na šipke. Broj udaraca (N-penetracijski otpor) se broji za napredovanje od tri uzastopna prodiranja u inkrementima od 15 cm (Slika 6.). Zbog mogućih poremećaja dna bušotine, broj udaraca za prvih 15 cm prodiranja može biti nepouzdan. Za konačan broj udaraca koristi se zbroj udaraca u drugom i trećem inkreментu kod ukupnog prodiranja od 30 cm. Nakon probijanja, cilindar s nožem se izvlači na površinu, nož i cilindar se odvajaju od bušaćih šipki, dvodijelni cilindar se otvara te se iz njega vadi reprezentativan poremećeni uzorak.



Slika 6. Postupak ispitivanja standardnim penetracijskim pokusom (Roje-Bonacci,2012)

Tablica 2. Povezanost broja udaraca (N) sa zbijenošću pijeska i konzistencijom koherentnog tla

Broj udaraca N	Zbijenost pijeska	Broj udaraca N	Konzistencija koherentnog tla
0 do 4	vrlo rahlo	2	vrlo meko
4 do 10	rahlo	2 do 4	meko
10 do 30	srednje zbijeno	4 do 8	srednje tvrdo
30 do 50	gusto	8 do 15	kruto
> 50	vrlo gusto	15 do 30	vrlo kruto
		> 30	čvrsto

SPT se koristi za određivanje čvrstoće i deformacijskih svojstava koherentnih i nekoherentnih tala. Prvenstveno se određuje relativna gustoća tla, a preko empirijskih korelacija mogu se odrediti posmična čvrstoća, modul elastičnosti, slijeganja, nosivost temelja i druge veličine. Povezanost broja udaraca (N) sa zbijenošću pijeska i konzistencijom koherentnog tla vidimo u tablici 2.

Zbog energetske neefikasnosti i različitosti postupka u praksi potrebne su mnogobrojne korekcije vrijednosti N. Najčešće je potrebno vršiti korekcije u odnosu na:

- Stvarni prijenos energije u šipke;
- Stvarnu dužinu šipki;
- Vertikalno efektivno naprezanje na određenoj dubini ispitivanja;
- Promjer bušotine;
- Nivo podzemne vode;
- Upotreba nestandardnog noža ili konusa.



Kad se uzmu u obzir faktori koji utječu na vrijednost  $N$  zabilježenu na terenu, korigirana vrijednost se najčešće dobiva kao:

$$N_{korigirani} = N \cdot C_e \cdot \lambda \cdot C_N \cdot C_S$$

gdje su:

- $N_{korigirani}$  – korigirana vrijednost broja udaraca,
- $N$  – broj udaraca izmjeren na terenu,
- $C_e$  – korekcija zbog prijenosa energije,
- $\lambda$  – korekcija zbog dužine šipki,
- $C_N$  – korekcija zbog efektivnog naprezanja,
- $C_S$  – korekcija zbog podzemne vode u pijescima.

### 3.2.2. Teška udarna sonda (DPH)

DPH je kontinuirano dinamičko sondiranje, odnosno kontinuirani SPT. SPT i DPH se razlikuju po tome što se SPT izvodi na dnu bušotine svakih 1,5 m dubine (po potrebi to može biti i manje, ali ne manje od 60 cm i ne više od 3 m), dok se DPH izvodi duž cijele bušotine. DPH ispitivanje se koristi za određivanje otpora tla prodiranju šiljka. Njime se prvenstveno određuje relativna gustoća tla, a onda se preko empirijskih korelacija ispitivanjem mogu odrediti posmična čvrstoća, modul elastičnosti, slijeganje, nosivost temelja i druge veličine (Strelec, 2012).

Osnovni princip dinamičkog sondiranja je da uteg standardne mase od 50 kg, koji je na vodilici s mehanizmom za dizanje i spuštanje, pada sa standardne visine od 50 cm za koje se kontinuirano mjeri broj udaraca uzastopno svakih 10 cm, tj. mjeri se broj potrebnih udaraca utega da se sonda punog konusnog šiljka površine 15 cm<sup>2</sup> (Slika 7.) pod kutem od 90°, promjera 43,7 mm utisne u tlo 10 cm. Na kraju svake utisnute bušaće šipke (koje za dubine do oko 15 m imaju masu od oko 6 kg/m, a za veće dubine od oko 8 kg/m) mjeri se torzijski moment potreban da se okrene šipka i da se onda na osnovi izmjerenog momenta utvrdi indikacija o komponenti trenja i koliko ta komponenta utječe na otpor tla pri prodiranju sonde. Izračunava se otpor prodiranju sonde  $R_d$  te na

osnovi dobivenog otpora prodiranja u tlo mogu se odrediti i drugi parametri tla: nedrenirana čvrstoća tla ( $c_u$ ), broj udaraca standardnog penetracijskog pokusa ( $N$ ), indeks zbijenosti tla ( $D_R$ ), kut trenja tla ( $\phi$ ), edometarski modul tla ( $E_{oed}$ ). Otpor prodiranju sonde izračunava se:

$$R_d = \frac{g}{A} \cdot \left[ \left( \frac{M^2}{M + M'} \right) \cdot \frac{h}{0.1} \cdot N_{10} + (M + M') \right] - \frac{T}{A \cdot r}$$

gdje su:

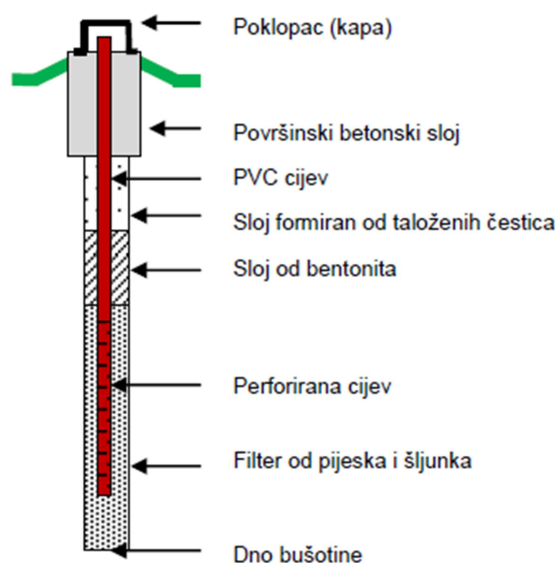
- $R_d$  – otpor tla prodiranju sonde
- $M$  – masa utega (50 kg)
- $M'$  – masa sonde, šipki
- $h$  – visina pada utega (50 cm)
- $N_{10}$  – broj udaraca potrebnih za penetraciju sonde od 10 cm
- $T$  – torzijski moment potreban za rotaciju šipke (Nm)
- $r$  – polumjer šipki
- $A$  – površina sonde ( $15 \text{ cm}^2$ )



Slika 7. Šiljak DPH sonde (Szavits-Nossan, 2006)

### 3.2.3. Piezometri

Posebnu vrstu in-situ ispitivanja čine piezometri (Slika 8.) kojima se mjeri razina i tlak podzemne vode. Piezometri služe za određivanje razine i tlaka podzemne vode. Kako se, općenito, tlak vode mijenja s vremenom, određivanje njegove kompletne slike u prostoru i vremenu obično je vrlo zahtjevan, skup i rijetko ostvariv poduhvat. Inženjer, ovisno o složenosti slučaja i osjetljivosti građevine, može dobiti pojednostavljenu sliku tlaka vode ugradnjom piezometara. Razvijen je niz različitih takvih uređaja, u pogledu stupnja složenosti, preciznosti, pouzdanosti i cijene. Najjednostavniji se uređaj sastoji od vertikalne cijevi, koja je na dnu otvorena i ima filter koji ju štiti od unosa sitnih čestica tla. Ova se cijev ugrađuje u prethodno izvedenu bušotinu. To je takozvani otvoreni piezometar. S površine se terena mjeri razina vode u cijevi, uz pretpostavku da je mjereni tlak vode na mjestu filtera u piezometru jednak tlaku vode u okolnome tlu. To je uvijek tako u dobro propusnim pijescima i šljuncima, a ne mora biti točno u slabo propusnim glinama i prahovima. Razlog zbog kojeg mjereni tlak vode u piezometru ne mora odgovarati onome u okolnome tlu je taj, što treba čekati jako dugo da se izjednače tlakovi vode, zbog količine vode koja bi se iz tla trebala sliti u piezometar za dobivanje korektno slike o razini vode u tlu. Za mjerenje tlaka podzemne vode u sitnozrnatim tlima, potrebni su zatvoreni piezometri koji koriste razna osjetila. S ovim je osjetilima potreban vrlo mali dotok vode k osjetilu kako bi se korektno očitao tlak vode u tlu (Szavits-Nossan, 2006).

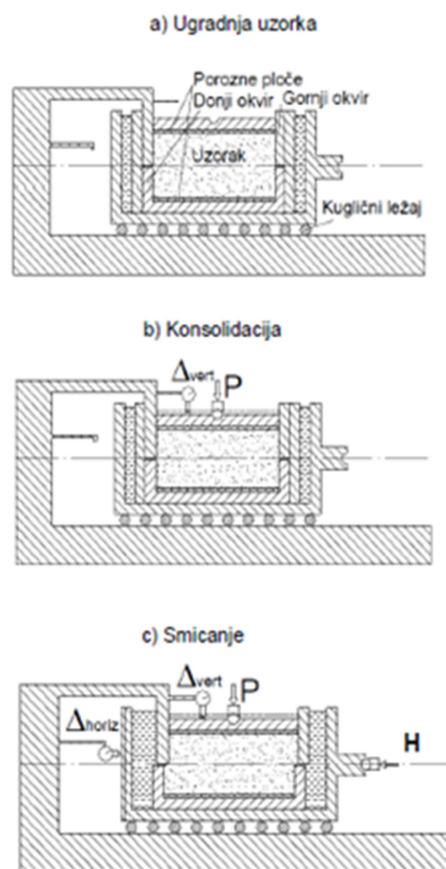


Slika 8. Osnovna konstrukcija piezometra (Strelec, 2012)

### 3.3. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Laboratorijskim ispitivanjima obuhvaćeni su pokusi za određivanje općih i mehaničkih obilježja na poremećenim uzorcima koherentnih i nekoherentnih tala.

Kod koherentnog materijala (glina, prah) određivanje parametara čvrstoće obavlja se na uzorku veličine  $60 \times 60 \times 25$  mm koji se ugrađuje u metalni dvodijelni kalup i opterećuje vertikalnom silom. Po završetku konsolidacije, gornji okvir kalupa opterećuje se horizontalnom silom kontinuiranog prirasta do loma uz mjerenje horizontalne deformacije. Najmanje tri probe, od jednog neporemećenog uzorka, pod različitim vertikalnim opterećenjima čine jedan pokus (Slika 9.). Iz parova vertikalnih i maksimalnih horizontalnih opterećenja formira se Coulombov pravac smicanja i iz njega preračunava kohezija ( $c$ ) i kut unutrašnjeg trenja ( $\phi$ ), (Kavur, 2015).



Slika 9. Princip rada aparata za izravni posmik (Matešić, 2010)

U geomehničkom laboratoriju na neporemećenim i poremećenim uzorcima tla ispituju su slijedeća svojstva:

- sadržaj prirodne vlage	$w_o$	(%)
- obujamska težina	$\gamma_{w,d}$	(kN/m <sup>3</sup> )
- specifična težina	$\gamma_s$	(kN/m <sup>3</sup> )
- Atterbergove granice plastičnosti	$w_{L,P}$	(%)
- izravno standardno smicanje		
a) kohezija	$c$	(kN/m <sup>2</sup> )
b) kut unutrašnjeg trenja	$\varphi$	(°)
- kompresija u edometru		
a) koeficijent pora	$e$	-
b) modul stišljivosti	$M_v$	(MN/m <sup>2</sup> )

Za nekoherentno tlo karakteristični uzorci tla, uzeti prilikom terenskih radova, osuše se do konstantne mase i siju kroz sita standardnih veličina otvora, nakon čega se važu pojedine frakcije i izračuna njihov odnos prema ukupnoj masi uzorka. Sijanje se provodi tako da se uzorak suhog tla mehaničkim trešenjem prosijava kroz niz sita, od kojih svako slijedeće ima manje otvore (Slika 10.).



Slika 10. Mehanička tresalica sa odgovarajućim sitima različitih promjera otvora

Na temelju dobivenih podataka o veličini čestica i njihovom udjelu u tlu, izrađuju se granulometrijski dijagrami (Slika 11.) koji prikazuju granulometrijski sastav tla (sastav tla prema veličini zrna). Dalje definiramo promjer efektivnog zrna  $D_{10}$  i promjer dominantnog zrna  $D_{60}$ . Promjer efektivnog zrna je onaj promjer zrna za dani uzorak tla od kojeg je 10% zrna tla manje, a promjer dominantnog zrna je onaj promjer od kojeg je 60% zrna tla manje, odnosno za dani uzorak je 10% zrna manje od  $D_{10}$ , a 60% zrna je manje od  $D_{60}$ .

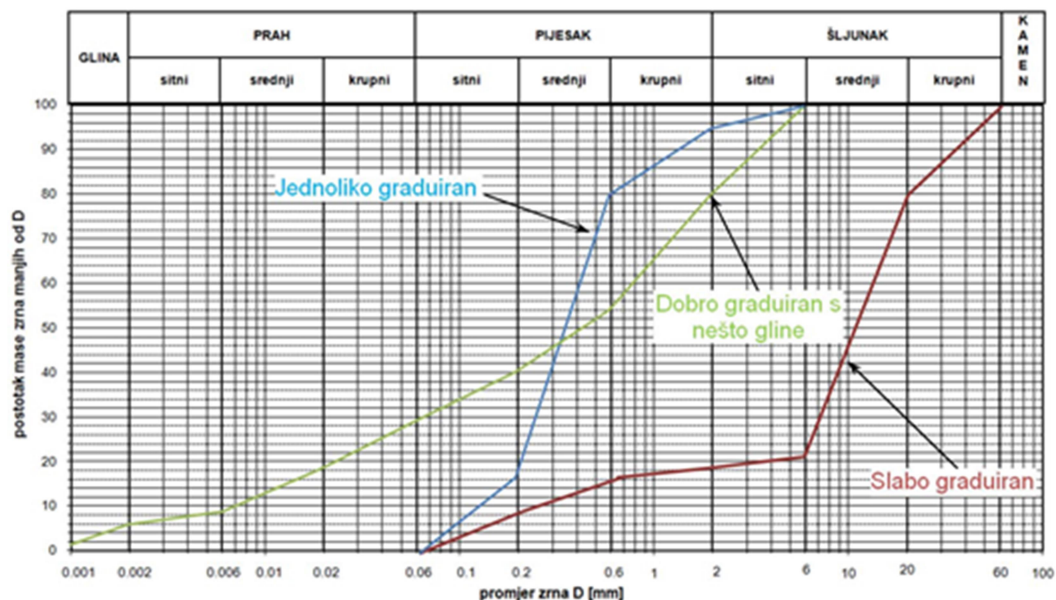
Koeficijent jednoličnosti definiran je sa:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

a koeficijent zakrivljenosti sa:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

Tlo za koje je koeficijent zakrivljenosti granulometrijske krivulje između 1 i 3, dakle  $1 < C_c < 3$ , dobro je graduirano, uz uvjet da je također  $C_u > 4$  za šljunak, odnosno  $C_u > 6$  za pijesak. U slučaju da jedan od ova uvjeta nije ispunjen onda je šljunak odnosno pijesak slabo graduiran (simbol GP ili SP), (Kavur, 2015).



Slika 11. Primjer granulometrijskih krivulja, dijagram (Kavur, 2015)

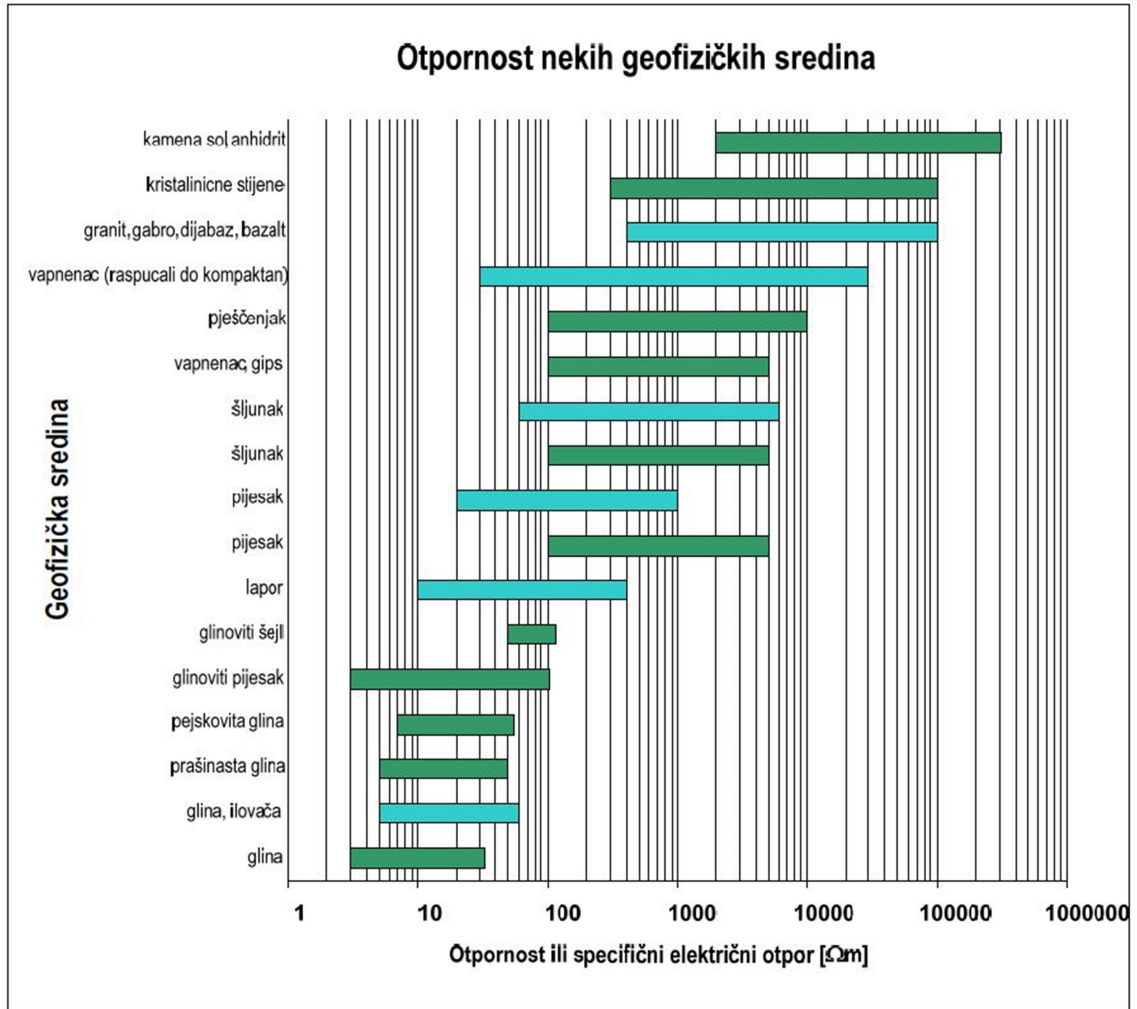
### 3.4. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

Geofizička ispitivanja uključuju niz različitih terenskih ispitivanja tla. Obično se provode kao dopuna istražnim bušenjima i in-situ ispitivanjima. Na konkretnom primjeru geofizička istraživanja obuhvaćaju električna istraživanja u smislu dviju metoda, vertikalnog profiliranja (VES), odnosno geoelektrične sonde, te profiliranje geoelektričnom tomografijom i seizmička istraživanja za određivanje profila brzine širenja seizmičkih valova i to P valova plitkom seizmičkom refrakcijom (RF), te S valova višekanalnom analizom površinskih valova (MASW).

Kod geoelektričnih metoda najčešće se primjenjuje galvanska metoda prividnog otpora, koja se zasniva na razlici između električnih otpornosti slojeva, odnosno masa u zahvaćenom dijelu podzemlja. Struja određene jakosti se iz baterije, preko metalnih strujnih elektroda upušta u tlo, te se iz nastale razlike potencijala na mjernim naponskim elektrodama određuje prividna otpornost stijena. Svaka od geoloških sredina ima svoju specifičnu otpornost (Slika 12.).

Geofizičke metode upotrebljavaju širenje seizmičkih valova karakterističnih brzina za određivanje slojevitosti, elastične stišljivosti i ostalih prigušenih parametara stijena i tla. Ovi testovi su obično provedeni kod vrlo malih napreznja i kao takvi ostaju u elastičnoj domeni tla. U teoriji širenja seizmičkih valova pretpostavlja se da stijena u svakoj svojoj točki ima jednaka svojstva, te da su ta svojstva u svim smjerovima jednaka. Ovaj slučaj nije nikada u potpunosti zadovoljen, ali se odstupanja zanemaruju. Polazna točka seizmičkih istraživanja je mjerenje vremena u kojem se seizmički valovi šire kroz podzemlje do nekih geoloških granica, na kojima se reflektiraju ili refraktiraju (Strelec, 2012). Valovi se mogu širiti kroz uzorak ili kroz unutrašnjost Zemlje i analiziraju se kao posljedice djelovanja nekog umjetnog ili prirodnog seizmičkog polja. Sve seizmičke metode, s primjenom u inženjerstvu, se temelje na konceptu istraživanja ponašanja geomaterijala (podzemlja) pri malim deformacijama, koje su nedovoljne veličine da bi izazvale značajniji nelinearni i neelastični odnos između napreznja i deformacija, koji bi mogao dovesti do neželjenih posljedica. Srž seizmičke metode je

određivanje brzine širenja seizmičkog vala kroz medij, tj. mjerenje vremena potrebnog da val pri širenju kroz medij stigne u razne točke prostora.



- Dohr, G. (1981) Applied Geophysics.
- Jelić, K. i Kovačević, S. (1979) Tehnička enciklopedija.

Slika 12. Prikaz otpornosti nekih materijala

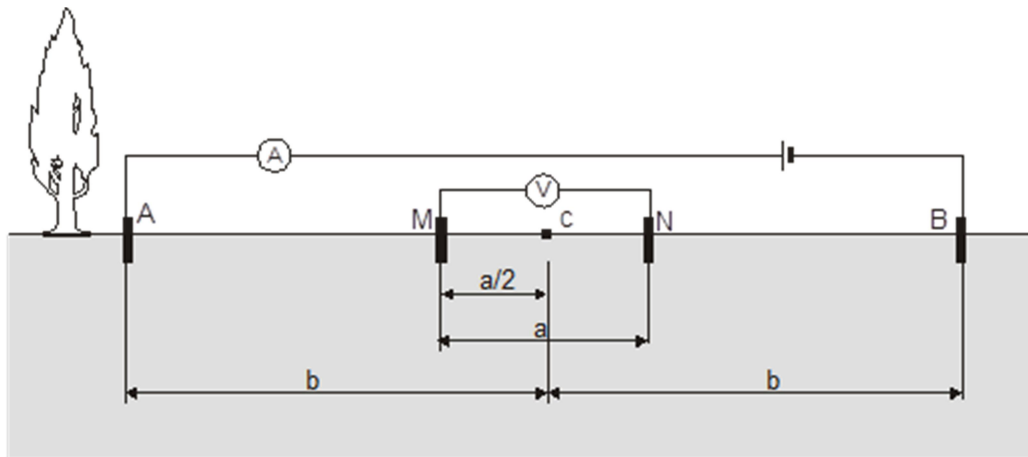


### 3.4.1. Geoelektrično sondiranje (VES)

Geoelektrična sonda predstavlja svojevrsnu geoelektričnu strukturnu bušotinu, pa su rezultati sondiranja relevantni za promjene specifičnog električnog otpora ispod određene točke na površini terena. Kod ovih mjerenja razmak elektroda različit je za svako mjerenje, dok centar elektrodnog polja, u kojem se mjere razlike potencijala, ostaje fiksna te se prikazuju razlike potencijala u odnosu prema onom izmjerenom u centru elektrodnog polja.

Dubina sondiranja ovisi o međusobnoj udaljenosti strujnih i naponskih elektroda, pa što je veći međusobni razmak elektroda, veća je dubina ispitivanja. Elektrode se obično postavljaju u ravnoj liniji, s time da se strujne elektrode (A i B) nalaze izvan naponskih elektroda (M i N). Mjeri se jakost struje između strujnih elektroda pa se iz razlike potencijala između potencijalnih elektroda, pomoću konstante geometrijskih odnosa svih elektroda, određuje prividna otpornost. Interpretacijom se određuju debljine i specifični električni otpor pojedinih geoelektričnih sredina (Ivanković, 2010).

Za geoelektrično sondiranje koristio se Schlumbergerov način geoelektričnog sondiranja (Slika 13.). Kod Schlumbergerov-og mjernog rasporeda potencijalne elektrode M i N se nalaze na udaljenosti  $a/2$  od centra sondiranja C, dok  $b=AB/2$  predstavlja udaljenost strujnih elektroda A i B od centra sondiranja. Pri mjerenju je udaljenost  $a/2$  mnogo manja od udaljenosti  $b$ , te u praksi vrijedi relacija  $a/2 < 2b/10$ . Kako se strujne elektrode razmiču, razlika potencijala postaje sve manja. Može se dogoditi da vrijednost razlike potencijala postane tako mala da ju nije moguće izmjeriti s postojećim voltmetrom. Zbog toga je potrebno povećavati razmak potencijalnih elektroda kako bi se povećala i razlika potencijala.



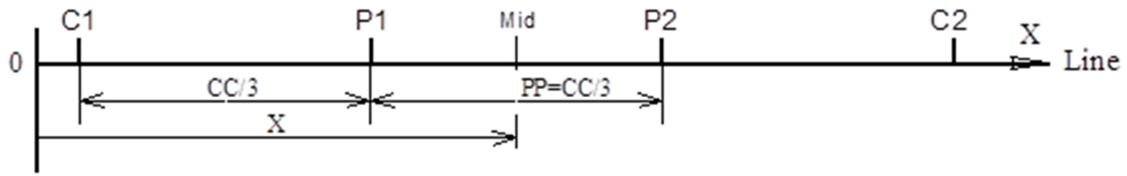
Slika 13. Schlumbergerov mjerni raspored (Strelec, 2011)

### 3.4.2. Geoelektrična tomografija

2D-električna tomografija je površinska geoelektrična metoda kojom se istražuju električne otpornosti stijena, te se najčešće ubraja u metode prividne otpornosti. 2D istraživanja daju bolji i precizniji model podzemlja nego 1D istraživanja jer uzimaju u obzir i vertikalne i horizontalne promjene otpornosti. 2D-električnom tomografijom se mogu vrlo uspješno istraživati izdužene geološke strukture, ali pri tome treba profil postaviti što više okomito na pružanje struktura. Mjerenja električnih otpornosti 2D-električnom tomografijom izvode se s više dubinskih zahvata, ali se pri tome mijenjaju i središta mjerenja, odnosno 2D-tomografija na neki način kombinira metode sondiranja i profiliranja. Mjerenja se uglavnom izvode sofisticiranim višeelektrodnim sustavima, koji su razvijani usporedno s teorijskim razvojem električne tomografije.

Geoelektrična tomografija izvedena je na četiri profila Wennerovim mjernim rasporedom. U Wennerovom mjernom rasporedu za profiliranje koriste se dvije strujne elektrode (C1 i C2) i dvije potencijalne elektrode (P1 i P2) smještene u liniji i centrirane na nekoj lokaciji (Slika 14). Elektrode se postavljaju u ravnoj liniji profila, na način da se zabode svih 24 elektroda, a preklopnik geoelektričnog uređaja za mjerenje automatizirano prebacuje raspored strujnih i potencijalnih elektroda. Mjeri se jakost struje između strujnih elektroda pa se iz razlike potencijala između potencijalnih elektroda, pomoću konstante geometrijskih odnosa elektroda (za Wenner PRF –  $K=2\pi$

$CC/3$ ), određuje prividna otpornost. Interpretacijom se određuju debljine i specifični električni otpor pojedinih geoelektričnih sredina.



Slika 14. Wenner-ov raspored

gdje je:

$X$  - udaljenost u profilu do polovišta P1P2 (Mid)

$CC/3$  - trećina udaljenosti strujnih elektroda ( $CC/3$ )

Polovište potencijalnih elektroda P1 i P2 nalazi se na udaljenosti  $X$  od početka geoelektričnog profila. Pri mjerenju udaljenost P1-P2 iznosi trećinu udaljenosti C1C2 ( $PP=CC/3$ ).

Prednosti geoelektričnog profiliranja:

- nije potrebno razmicanje elektroda sukladno položaju u profilu,
- mjerni raspored se u profilu pozicionira automatizirano.

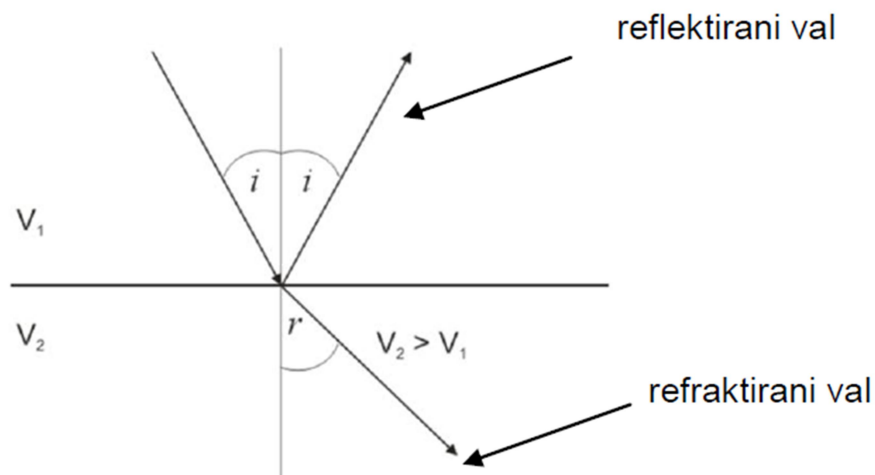
Interpretirani rezultati prikazuju se kao grafički prikaz profila otpornosti sa dubinom. Profil se može prikazati u boji ili u crno-bijelome prikazu, gdje različite šrafure prema legendi prikazuju zone različitih otpornosti. Trapezasti oblik grafičkog prikaza, gdje se sa udaljenošću od središta profila smanjuje dubina interpretacije, razlog je u postepenom smanjivanju prikupljenih podataka kako se razmak strujnih i potencijalnih elektroda povećava. Ako su potrebni ovi podaci kompletan profil se može preseliti duž linije istraživanja, te se grafički prikazi nastavljaju jedan na drugi (Strelec, 2011).

### 3.4.3. Seizmička refrakcija

Ovom metodom mjerimo vremena prvih nailazaka koji se očitavaju sa snimljenih seizmograma. Prvi se nailasci odnose na uzdužne P ili poprečne S valove što već ovisi o načinu generiranja seizmičkog poremećaja. "Pikiranje" i korespondencija vremena odgovarajućim refraktorima najosjetljiviji je dio prilikom interpretacije. Princip „computer aided tomography“ daje korektne slike kad god se uvažavaju relevantni podaci geotehničkog profila, a time se ujedno umanjuje moguća više-smislenosti zbog inverzije brzina po dubini.

Snellov zakon opisuje odnos kuteva (obzirom na okomicu na granici dvaju medija) upadnih, reflektiranih i refraktiranih zraka P i S valova i njihovih seizmičkih brzina (Slika 15). Indeksi 1 i 2 označavaju slojeve, gornji sloj manje, i donji sloj veće brzine. Snellov zakon glasi:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2}$$



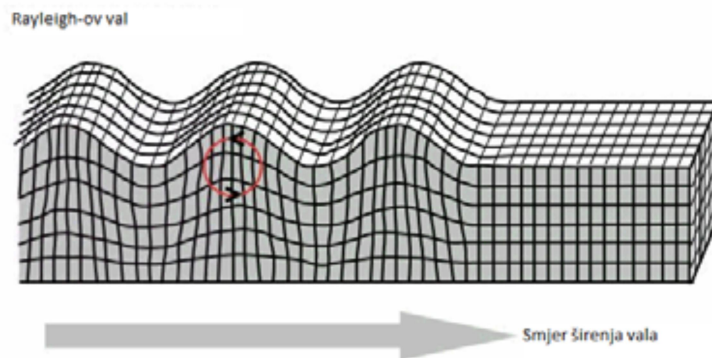
Slika 15. Snellov zakon (Strelec, 2012)

### 3.4.4. Višekanalna analiza površinskih valova

MASW ili višekanalna analiza površinskih valova je seizmička geofizička metoda koja se bavi procjenom krutosti tla. Prilikom različitih geotehničkih problema MASW se može koristiti u raznim oblicima, ovisno o problemu i to u: jednoj dimenziji (1D) ili sondiranje, dvije dimenzije (2D) ili tomografija i u tri dimenzije (3D) ili modeliranje stvarnosti. MASW metoda nam omogućava određivanje brzine posmičnih valova podpovršinskih materijala (Ivanković, 2010).

Seizmički valovi se u beskonačnom, homogenom i izotropnom mediju šire kao P i S prostorni valovi. S približavanjem granici polu-beskonačnog prostora ti se valovi transformiraju u površinske valove. Kada se za generiranje seizmičkih valova na površini koriste vertikalni izvori poput čekića ili pada utega (drop-weight), nastaju površinski Rayleighevi (R) valovi koji u najvećoj mjeri preuzimaju seizmičku energiju izvora (R valovi: 67%; S valovi: 26%; P valovi: 7%). Složeni oblik Rayleighevih valova sastoji se od longitudinalnog i transverzalnog gibanja s međusobnim pomakom u fazi. Materijalna čestica prelazi eliptičku putanju kojoj je velika poluos vertikalna kada je val blizu površine. R valovi često se nazivaju i valjanje tla (Slika 16). Fazna brzina širenja Rayleigh-ovih valova ( $v_r$ ) prvenstveno ovisi o brzini posmičnih valova ( $v_s$ ), (Strelec, 2012). Izraz koji pokazuje odnos između brzine posmičnih valova ( $v_s$ ) i brzine Rayleigh-ovih valova ( $v_r$ ) je sljedeći:

$$v_s = P v_r$$

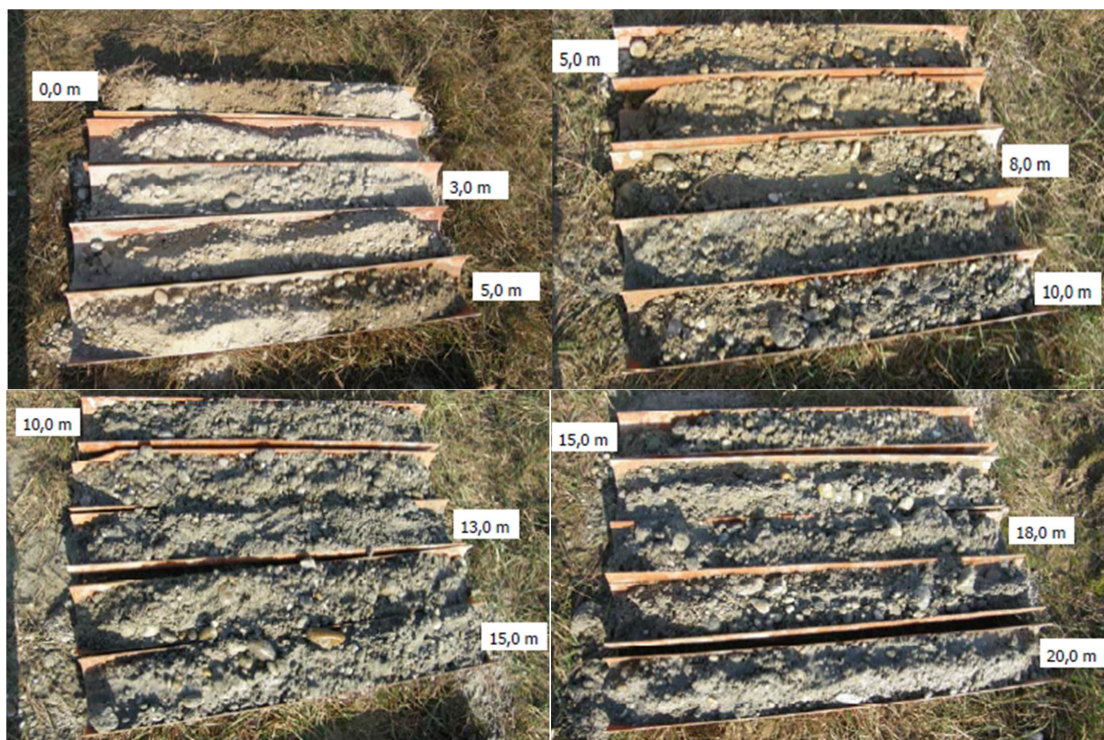


Slika 16. Širenje Rayleigh-ovog vala (Strelec, 2012)

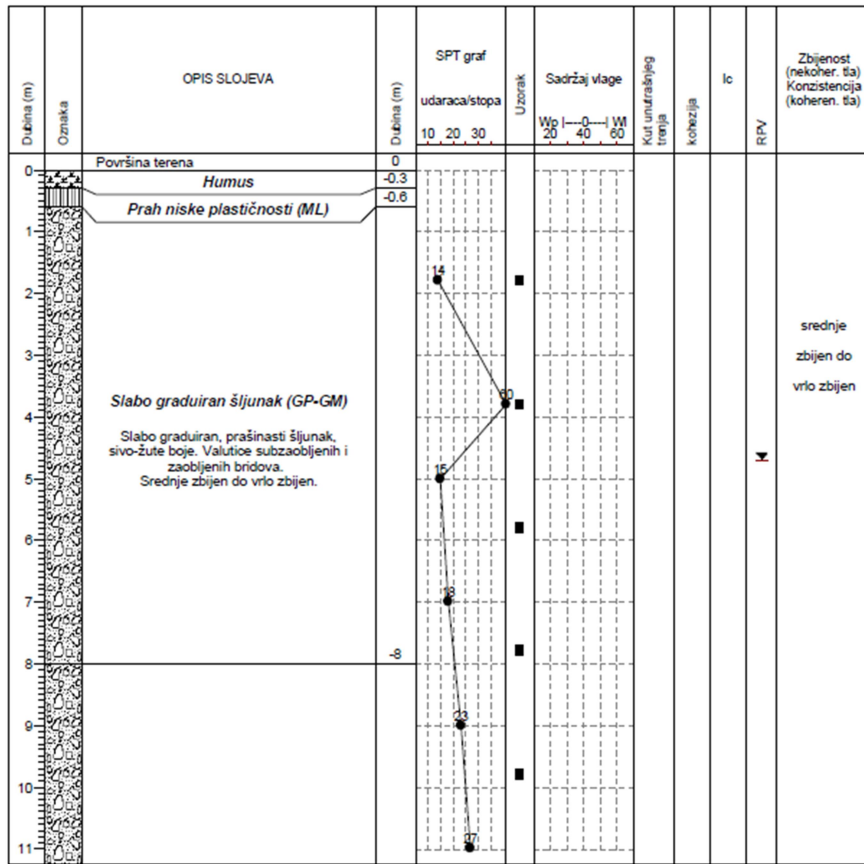
## 4. REZULTATI ISPITIVANJA

### 4.1. ISTRAŽNA BUŠENJA I TERENSKA ISPITIVANJA TLA

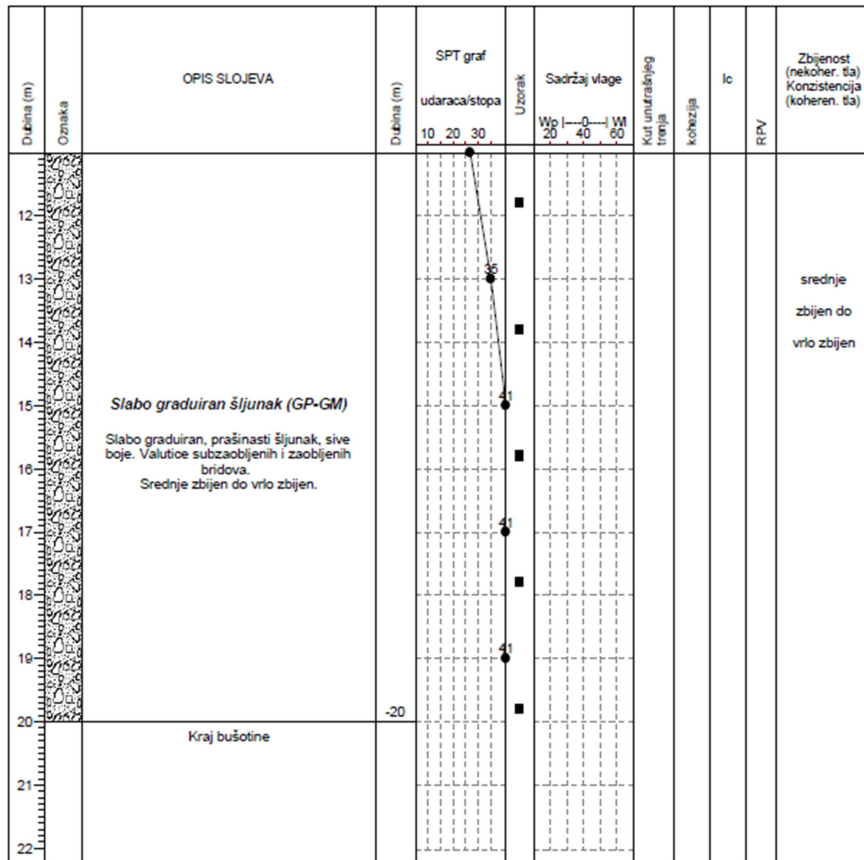
Na lokaciji Donji Vidovec izbušena je dvadeset i jedna istražna bušotina. Bušenje bušotina izvedeno je motornom rotacijskom bušilicom uz kontinuirano jezgrovanje. Prilikom bušenja snimljena je fotodokumentacija (Slika 17.) sondažnih jezgri te su izrađeni sondažni profili bušotina (Slika 18a/b.). Na sondažnim profilima bušotina, osim opisa slojeva i stupnja zbijenosti nekoherentnog tla, prikazani su rezultati SPT mjerenja te razina podzemne vode prilikom bušenja. Na slikama 17. i 18a/b prikazan je primjeri za bušotinu B-12, dok su rezultati SPT-a pojedinih bušotina prikazani u tablici 3a/b. te razina podzemne vode u bušotinama u tablici 4. Uz geomehaničko bušenje i dinamičko sondiranje SPT standardom u bušotinama, provedeno je i kontinuirano dinamičko sondiranje (DPH), čiji su rezultati odnosno DPH penetrogrami priloženi u prilogu 3, listovi 1 do 12. Karakteristični geotehnički profili iskazani su u prilogu 2, listovi 1 i 2.



Slika 17. Prikaz sondažne jezgre bušotine B-12



Slika 18a. Sondažni profil bušotine B-12



Slika 18b. Sondažni profil bušotine B-12

Tablica 3a. Prikaz rezultata standardnog penetracijskog pokusa

Bušotina	Dubina (m)	Broj udaraca/stopa	Bušotina	Dubina (m)	Broj udaraca/stopa
B - 1	2,00	<b>40</b>	B - 10	11,00	<b>32</b>
	4,00	<b>19</b>		13,00	<b>33</b>
	5,50	<b>22</b>		15,00	<b>45</b>
B - 2	2,00	<b>32</b>		17,00	<b>45</b>
	4,00	<b>16</b>		19,00	<b>45</b>
	5,50	<b>20</b>	B - 11	2,50	<b>27</b>
B - 3	3,00	<b>49</b>		4,50	<b>17</b>
	4,50	<b>16</b>		6,00	<b>20</b>
	5,50	<b>25</b>		8,00	<b>25</b>
B - 4	1,50	<b>18</b>		10,00	<b>27</b>
	3,00	<b>35</b>		12,00	<b>38</b>
	5,00	<b>19</b>		14,00	<b>43</b>
B - 5	2,00	<b>20</b>		16,00	<b>43</b>
	4,00	<b>15</b>		18,00	<b>43</b>
	5,50	<b>21</b>		20,00	<b>43</b>
B - 6	1,50	<b>27</b>	B - 12	1,80	<b>14</b>
	3,00	<b>79</b>		3,80	<b>60</b>
	5,00	<b>17</b>		5,00	<b>15</b>
B - 7	2,00	<b>20</b>		7,00	<b>18</b>
	4,50	<b>15</b>		9,00	<b>23</b>
	5,50	<b>21</b>		11,00	<b>27</b>
B - 8	1,00	<b>11</b>		13,00	<b>35</b>
	2,50	<b>30</b>		15,00	<b>41</b>
	5,00	<b>20</b>		17,00	<b>41</b>
	7,00	<b>20</b>		19,00	<b>41</b>
	9,00	<b>28</b>	B - 13	2,00	<b>20</b>
B - 9	1,00	<b>11</b>		3,50	<b>27</b>
	3,00	<b>32</b>		6,00	<b>21</b>
	5,00	<b>17</b>		8,00	<b>23</b>
	7,00	<b>19</b>		10,00	<b>25</b>
	9,00	<b>26</b>		12,00	<b>30</b>
B - 10	1,50	<b>21</b>		14,00	<b>36</b>
	3,00	<b>49</b>		16,00	<b>42</b>
	5,00	<b>17</b>		18,00	<b>42</b>
	7,00	<b>20</b>		20,00	<b>42</b>
	9,00	<b>20</b>			



Tablica 3b. Prikaz rezultata standardnog penetracijskog pokusa

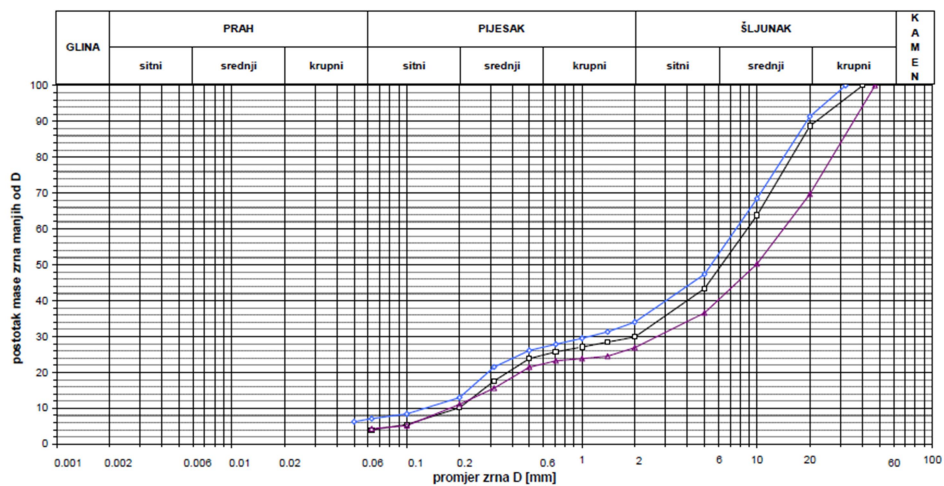
Bušotina	Dubina (m)	Broj udaraca/stopa	Bušotina	Dubina (m)	Broj udaraca/stopa
B - 14	1,50	<b>20</b>	B - 17	4,00	<b>25</b>
	2,50	<b>52</b>		6,00	<b>13</b>
	5,00	<b>16</b>		8,00	<b>19</b>
	6,50	<b>18</b>		10,00	<b>27</b>
	8,50	<b>23</b>		12,00	<b>32</b>
	10,50	<b>35</b>		14,00	<b>38</b>
	12,50	<b>35</b>	B - 18	-	-
	14,50	<b>38</b>	B - 19	-	-
	16,50	<b>43</b>	B - 20	2,00	<b>24</b>
	18,50	<b>43</b>		4,00	<b>45</b>
B - 15	2,00	<b>25</b>		6,00	<b>19</b>
	3,50	<b>32</b>		8,00	<b>21</b>
	6,00	<b>21</b>		10,00	<b>23</b>
	8,00	<b>24</b>		12,00	<b>28</b>
	10,00	<b>27</b>		14,00	<b>42</b>
	12,00	<b>32</b>		16,00	<b>31</b>
	14,00	<b>47</b>		18,00	<b>42</b>
	16,00	<b>47</b>		20,00	<b>38</b>
	18,00	<b>47</b>	22,00	<b>42</b>	
	20,00	<b>47</b>	24,00	<b>27</b>	
B - 16	2,00	<b>30</b>	26,00	<b>24</b>	
	4,00	<b>48</b>	28,00	<b>29</b>	
	6,00	<b>20</b>	30,00	<b>29</b>	
	8,00	<b>20</b>	32,00	<b>32</b>	
	10,00	<b>31</b>	34,00	<b>31</b>	
	12,00	<b>34</b>	B - 21	2,00	<b>20</b>
	14,00	<b>44</b>		4,00	<b>45</b>
	16,00	<b>44</b>		6,00	<b>17</b>
	18,00	<b>44</b>		8,00	<b>20</b>
	20,00	<b>44</b>		10,00	<b>25</b>
	22,00	<b>44</b>		12,00	<b>30</b>
	24,00	<b>23</b>		14,00	<b>33</b>
	26,00	<b>27</b>		16,00	<b>46</b>
	28,00	<b>32</b>		25,00	<b>25</b>
B - 17	1,50	<b>29</b>		27,00	<b>30</b>
	2,50	<b>22</b>			

Tablica 4. Tabela prikaz razine podzemne vode prilikom bušenja

<b>Bušotina</b>	<b>RPV (m)</b>	<b>Dubina bušenja</b>	<b>Bušotina</b>	<b>RPV (m)</b>	<b>Dubina bušenja</b>
B - 1	<b>3,50</b>	6,0	B - 12	<b>4,70</b>	20,0
B - 2	<b>3,50</b>	6,0	B - 13	<b>4,60</b>	20,0
B - 3	<b>4,00</b>	6,0	B - 14	<b>4,40</b>	20,0
B - 4	<b>3,90</b>	6,0	B - 15	<b>4,20</b>	20,0
B - 5	<b>3,80</b>	6,0	B - 16	<b>4,60</b>	30,0
B - 6	<b>4,00</b>	6,0	B - 17	<b>4,50</b>	15,0
B - 7	<b>3,90</b>	6,0	B - 18	<b>4,30</b>	8,0
B - 8	<b>4,20</b>	10,0	B - 19	<b>4,60</b>	8,0
B - 9	<b>4,30</b>	10,0	B - 20	<b>4,60</b>	35,0
B - 10	<b>4,00</b>	20,0	B - 21	<b>4,70</b>	30,0
B - 11	<b>4,10</b>	20,0			

## 4.2. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Iz geomehaničkih istražnih bušotina uzeti su poremećeni uzorci za laboratorijske analize, odnosno za utvrđivanje fizikalnih i mehaničkih svojstva tla. Na temelju dobivenih podataka o veličini čestica i njihovom udjelu u tlu, izrađuju se granulometrijski dijagrami koji prikazuju granulometrijski sastav tla. Na slici 19. prikazan je primjer granulometrijskog dijagrama tla bušotine B-4, dok su rezultati granulometrijskog sastava uzoraka iz bušotina B - 1 do 12 prikazani u tablici 5.



Redni broj uzorka:	Oznaka uzorka:	Dubina (m):		Cu	Cc	ŠLJUNAK (%)	PIJESAK (%)	PRAH (%)	GLINA (%)	USCS klasifikacija
10	B - 4	1,00 - 1,20	□	44,84	2,38	70,16	25,88	3,96	/	GW
11	B - 4	3,50 - 3,70	◇	59,41	1,25	65,97	26,94	7,09	/	GW-GM
12	B - 4	4,80 - 5,00	△	80,29	2,90	73,13	22,59	4,28	/	GW
Građevina:	Bioplinsko postrojenje									
Lokacija:	Donji Vidovec									

Slika 19. Granulometrijski dijagram i rezultati laboratorijskog ispitivanja uzoraka bušotine B-4

Tablica 5. Granulometrijski sastav uzoraka

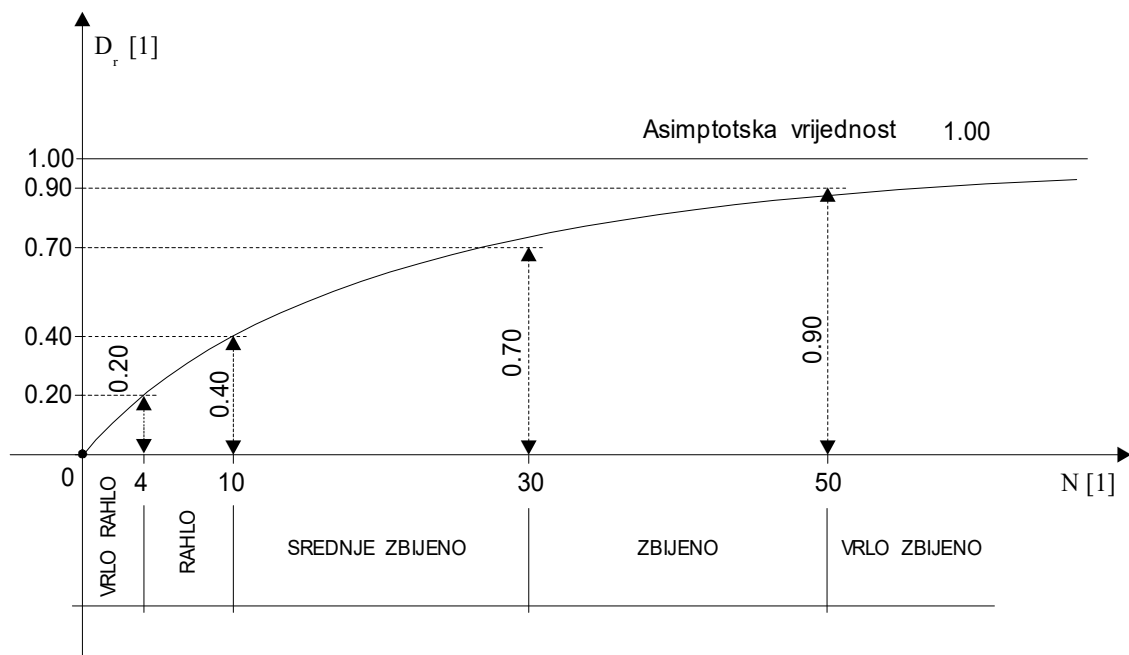
Redni broj uzorka	Oznaka uzorka	Dubina (m)	Cu	Cc	ŠLJUNAK (%)	PIJESAK (%)	PRAH (%)	GLINA (%)	USCS klasifikacija
1	B - 1	1,00 - 1,20	/	/	2,34	82,89	13,17	1,60	SM
2	B - 1	2,50 - 2,70	33,91	0,22	63,94	33,29	2,77	/	GP
3	B - 1	5,00 - 5,20	/	/	46,54	37,25	11,95	4,26	GM
4	B - 2	1,50 - 1,70	/	/	0,22	72,60	24,68	2,50	SM
5	B - 2	3,00 - 3,20	49,10	3,11	75,53	23,23	2,24	/	GP
6	B - 2	5,00 - 5,20	/	/	48,11	36,41	12,12	3,36	GM
7	B - 3	2,00 - 2,20	58,92	4,07	75,93	19,97	4,10	/	GP
8	B - 3	4,50 - 4,70	40,04	3,81	74,79	21,68	3,53	/	GP
9	B - 3	5,80 - 6,00	69,01	7,99	78,66	18,32	3,02	/	GP
10	B - 4	1,00 - 1,20	44,84	2,38	70,16	25,88	3,96	/	GW
11	B - 4	3,50 - 3,70	59,41	1,25	65,97	26,94	7,09	/	GW-GM
12	B - 4	4,80 - 5,00	80,29	2,90	73,13	22,69	4,28	/	GW
13	B - 5	1,80 - 2,00	72,03	9,41	80,47	15,16	4,37	/	GP
14	B - 5	3,00 - 3,20	65,78	8,16	81,63	14,08	4,29	/	GP
15	B - 5	5,00 - 5,20	46,17	10,40	84,15	12,91	2,95	/	GP
16	B - 6	2,80 - 3,00	64,06	0,97	64,61	28,78	6,61	/	GP-GM
17	B - 6	4,00 - 4,20	58,93	3,27	73,55	22,16	4,29	/	GP
18	B - 6	5,50 - 5,70	49,65	3,70	74,53	21,49	3,98	/	GP
19	B - 7	1,00 - 1,20	44,13	3,09	73,57	22,22	4,21	/	GP
20	B - 7	2,80 - 3,00	70,61	4,48	75,21	20,11	4,68	/	GP
21	B - 7	5,00 - 5,20	97,97	0,80	63,00	28,20	8,80	/	GP-GM
22	B - 8	1,50 - 1,70	42,97	2,29	71,92	24,23	3,85	/	GW
23	B - 8	3,00 - 3,20	58,38	1,26	66,09	28,10	5,81	/	GW-GM
24	B - 8	6,00 - 6,20	41,27	1,68	69,20	26,34	4,45	/	GW
25	B - 8	8,00 - 8,20	80,29	2,64	72,45	23,66	3,99	/	GW
26	B - 8	9,80 - 10,00	88,97	2,27	73,21	23,55	3,24	/	GW
27	B - 9	2,00 - 2,20	51,27	2,03	70,57	24,50	4,93	/	GW
28	B - 9	4,00 - 4,20	51,27	1,67	69,65	25,17	5,18	/	GW-GM
29	B - 9	6,00 - 6,20	65,78	8,16	81,23	14,84	3,93	/	GP
30	B - 9	8,00 - 8,20	44,84	2,39	70,21	26,96	2,83	/	GW
31	B - 9	9,50 - 9,70	78,82	2,72	72,87	23,38	3,75	/	GW
32	B - 10	1,80 - 2,00	57,41	10,94	82,57	14,36	3,07	/	GP
33	B - 10	3,80 - 4,00	69,96	3,85	73,79	21,30	4,91	/	GP
34	B - 10	5,80 - 6,00	68,91	10,02	80,23	15,98	3,79	/	GP
35	B - 10	7,80 - 8,00	2,88	1,40	0,56	94,59	4,85	/	SP
36	B - 10	9,80 - 10,00	61,84	0,22	53,72	38,31	7,97	/	GP-GM
37	B - 10	11,80 - 12,00	35,15	0,25	47,14	45,25	7,61	/	GP-GM
38	B - 10	13,80 - 14,00	38,61	0,25	49,60	43,11	7,29	/	GP-GM
39	B - 10	15,80 - 16,00	45,70	0,26	51,30	42,46	6,24	/	GP-GM
40	B - 10	17,80 - 18,00	38,90	0,25	50,18	42,75	7,07	/	GP-GM
41	B - 10	19,80 - 20,00	37,25	0,22	51,20	43,97	4,83	/	GP
42	B - 11	2,20 - 2,40	50,96	3,19	73,21	21,62	5,17	/	GP-GM
43	B - 11	4,60 - 4,80	49,35	3,30	69,24	24,47	6,28	/	GP-GM
44	B - 11	6,00 - 6,20	54,26	2,15	73,91	25,05	1,04	/	GW
45	B - 11	8,00 - 8,20	80,52	2,68	73,20	24,71	2,09	/	GW

### 4.3. GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE TEMELJNOG TLA

Identifikacijom materijala iz istražnih bušotina utvrđen je sljedeći litološki raspored slojeva tla u geotehničkom profilu:

Površinski sloj čini humusni materijal, debljine 20-tak centimetara, dublje kojeg zaliježu klastični sedimenti predstavljeni prahom niske plastičnosti (ML) i prašinstim pijeskom (SM), mjestimice pomiješanih sa valuticama šljunka. Površinski sedimenti na istražnom prostoru zaliježu od minimalno 0,3 m do maksimalno 0,8 m, osim na prostoru bušotina B-1 i B-2 (sjever lokacije) gdje su identificirani do dubine 2,0 m. Dublje površinskih prašinsto, pjeskovitih materijala slijede aluvijalni sedimenti slabo i dobro graduiranog šljunka (GP/GW), valutica subzaobljenih i zaobljenih bridova. Granulometrijski sastav odgovara sitno i srednjezrnim šljuncima s velikim rasponom udjela pijeska, 12 do 45%, te mjestimice 5 do 20% koherentnog materijala čime je klasificiran kao prašinsti (GP-GM/GM). Generalno, u plićim dijelovima šljunak je sivo-žute do sivo-smeđe boje, dublje čega prelazi u sivu do sivo-plavu. Na prostoru bušotina B-10, B-11, B-13, B-16 i B-20 unutar sloja determiniran je proslojak pijeska promjenjive moćnosti, od min. 0,3 m do maks. 1,0 m. Kod profila bušotine B-17 pijesak je značajne debljine, 3,9 m, a utvrđen je u intervalu od 5,5 do 9,4 m. Zbijenost šljunka odgovara srednje zbijenom do vrlo zbijenom stanju, uz karakterističan zbijen do vrlo zbijen interval koji se pojavljuje iznad razine podzemne vode, a kao rezultat sedimentacijskog procesa uslijed fluktuacije vode. Do okvirne dubine od 13 m šljunak je srednje zbijen sa brojem udaraca SPT  $N = 11 - 32$  udaraca/stopi i prosječnim brojem udaraca DPH  $N_{10} = 10$  udaraca/10 cm. Dublje, šljunak je zbijen do vrlo zbijen sa SPT  $N > 30$  udaraca/stopi i  $N_{10} > 15$  udaraca/10 cm. Sivi šljunak rekognosciran je do maksimalno 22,0 m. Dubokim bušotinama, dublje sivog šljunka, utvrđen je dobro i slabo graduiran prašinsti šljunak (GW-GM/GP-GM), žuto-smeđe boje. Šljunak je zbijen do vrlo zbijen sa brojem udaraca SPT probe  $N = 38 - >44$  udaraca/stopi. Maksimalna dubina zalijeganja iznosi 24,4 m. Litološki slijed dubokih bušotina nastavlja se prašinstim i zaglinjenim pijescima (SM/SC), koji se izmjenjuju do dubine istražnog bušenja (30, 35 m). Pijesak je smeđe do sive boje, sa manjim varijacijama u boji materijala. Broj udaraca SPT probe odgovara rasponu  $N = 23 - 32$  udaraca/stopi, čime su klasificirani kao srednje zbijeni do zbijeni.

U skladu s tablicom 6 određen je modul stišljivosti nekoherentnog tla na lokaciji. Pomoću tablice 6 i slike 21 usvojena je vrijednost kuta unutrašnjeg trenja. Za određivanje kuta unutrašnjeg trenja nekoherentnog tla ovisno o stanju zbijenosti vrlo je koristan dijagram koji je prikazan na slici 21. Na slici 21  $D_r$  predstavlja relativnu zbijenost. U tablici 6 dat je prikaz odnosa fizičkih i mehaničkih svojstava nekoherentnog tla. Za pravilno određivanje kuta unutrašnjeg trenja treba uočiti raspon relativne zbijenosti od  $D_r=0$  do  $D_r=1$ . Vrijednosti relativne zbijenosti dobivaju se očitavanjem iz dijagrama na slici 20 na osnovu broja udaraca  $N$  (Strelec, 2011).



Slika 20. Graf funkcije  $D_r = D_r(N)$

Tablica 6. Korelacija  $N - M_s$  u pijescima i šljuncima

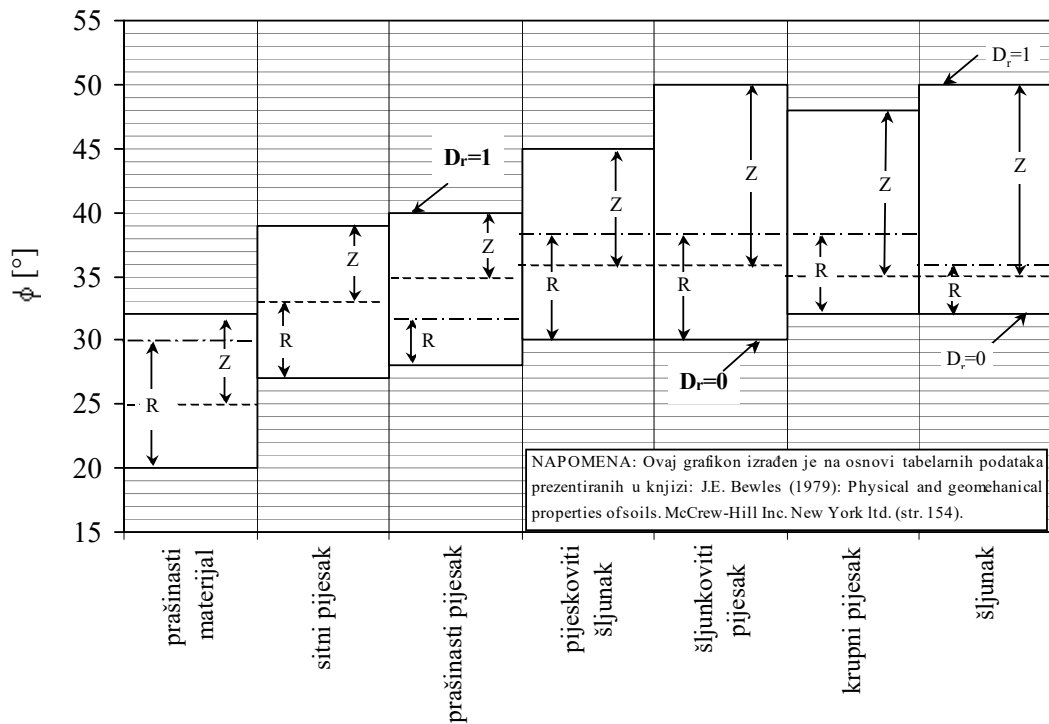
SPT	Rel. zbijenost (%)	SRS $n_{10}$	$M_s$ (MN/m <sup>2</sup> )	$\varphi$ (°)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
< 4	< 15	< 5	15 - 30	< 30	< 14
4 - 10	15 - 35	5 - 10	30 - 50	30 - 32,5	14 - 16
10 - 30	35 - 65	10 - 15	50 - 80	32,5 - 35	16 - 18
30 - 50	65 - 85	15 - 20	80 - 100	35 - 37,5	18 - 20
> 50	85 - 100	> 20	> 100	> 37,5	> 20

Bodenmechanische Eigenschaften von Sand und Kies (Richtwerte)  
(Geomehanička svojstva pijeska i šljunka)

## ISKUSTVENE VRIJEDNOSTI KUTA UNUTRAŠNJEG TRENJA $\phi$ ZA NEKOHERENTNA TLA OVISNO O STANJU ZBIJENOSTI

(R = rahlo stanje ; Z = zbijeno stanje)

(Napomena: veće vrijednosti odnose se na materijale s uglastim zrnima)



Slika 21. Iskustvene vrijednosti kuta unutrašnjeg trenja za nekoherentna tla

Analizom dobivenih podataka iz laboratorija i empirijskim korelacijama preko podatka  $N$  i  $N_{10}$  iz SPT i DPH probe za izradu geostatičkog proračuna usvojeni su sljedeći parametri temeljnog tla:

- **slabo/dobro graduiran šljunak (GP/GW):**

$$\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3, \quad M_v = 40 \text{ MN/m}^2, \quad c = 0 \text{ kN/m}^2 \text{ i } \phi = 33^\circ.$$

Slijeganje sloja debljine  $H$  računato je po izrazu:

$$s = \frac{\sigma_z}{M_v} \cdot H$$

gdje su:

$s$  - slijeganje sloja debljine  $H$ ,

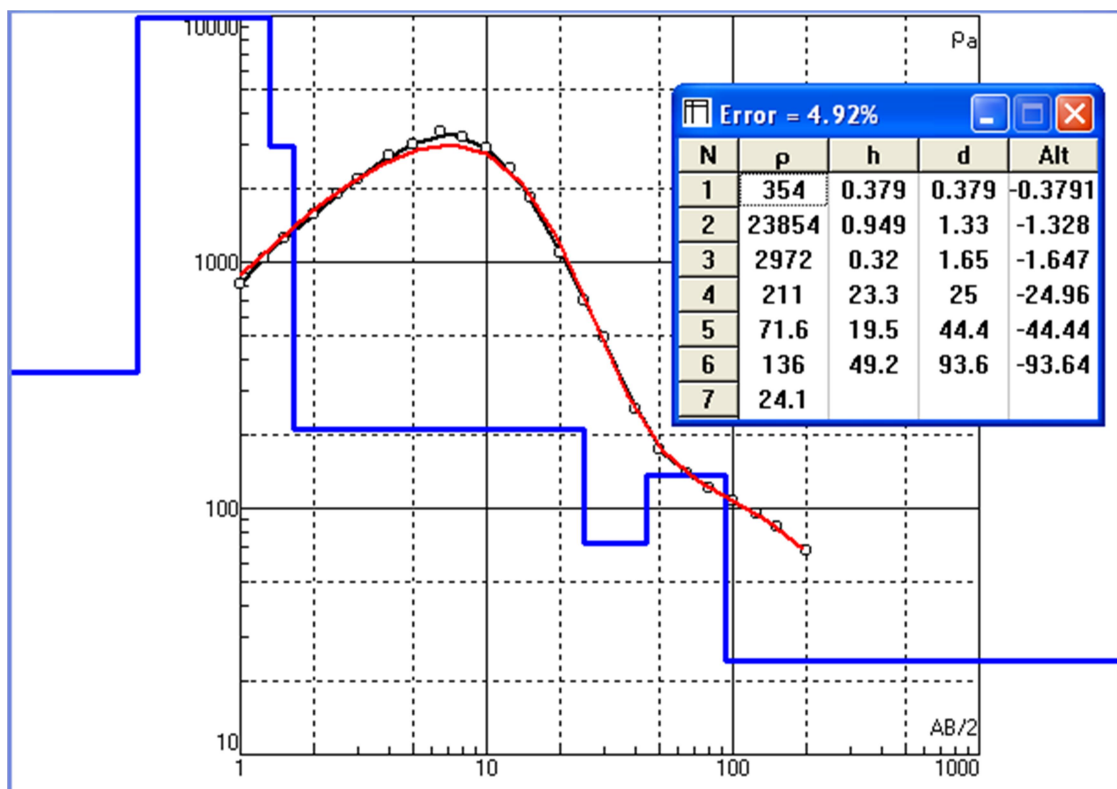
$\sigma_z$  - dodatno naprezanje uslijed kontaktnog naprezanja u dubini  $z$ ,

$M_v$  - modul stišljivosti promatranog sloja.

## 4.4. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

### 4.4.1. Geoelektrično sondiranje (VES)

Geoelektrično sondiranje (VES) metodom prividne otpornosti izvedeno je na jednoj geoelektričnoj sondi (GS-1). Maksimalni polurazmak strujnih elektroda AB/2 primijenjen na terenu iznosio je 200 m budući se takav polurazmak pokazao dostatnim za razlučivanje geoloških slojeva i interpretaciju odnosno primjerenim za vrstu zahvata kojeg se planira izvesti na lokaciji. Rezultat geoelektričnog sondiranja vidimo na slici 22 i u tablici 7 te daje uvid u dubinu zalijeganja šljunkovitih sedimenata, koja iznosi 25 m. U nastavku, a do 94 m, slijede u izmjeni prašnasti pijesci i pjeskoviti šljunci, kojim podinu predstavlja glina ili lapor.



Slika 22. Izmjereni geoelektrični profil na sondi GS-1

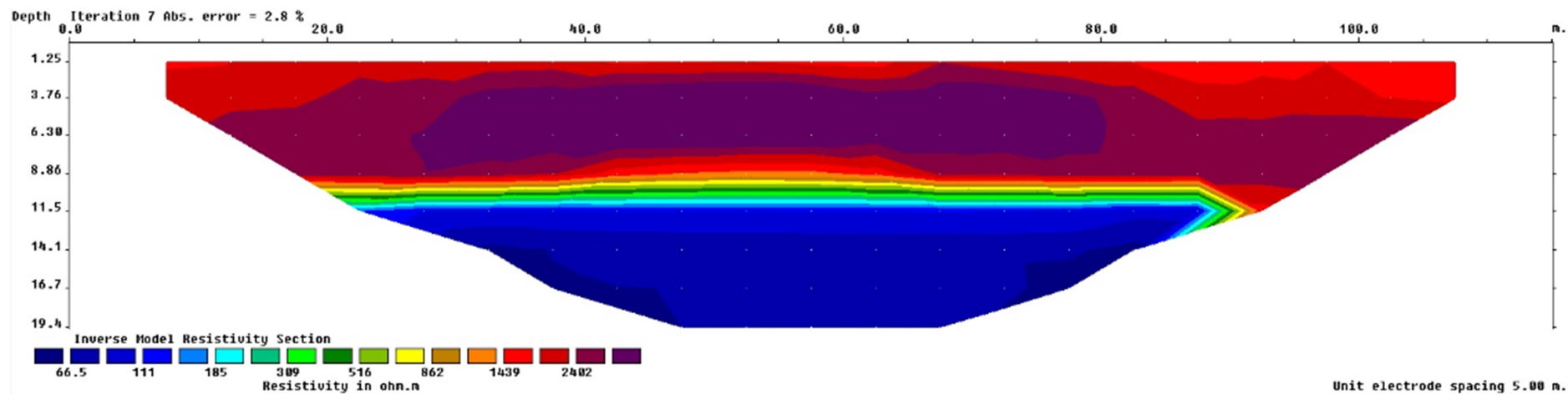


Tablica 7. Izmjereni geoelektrični profil na sondi GS-1

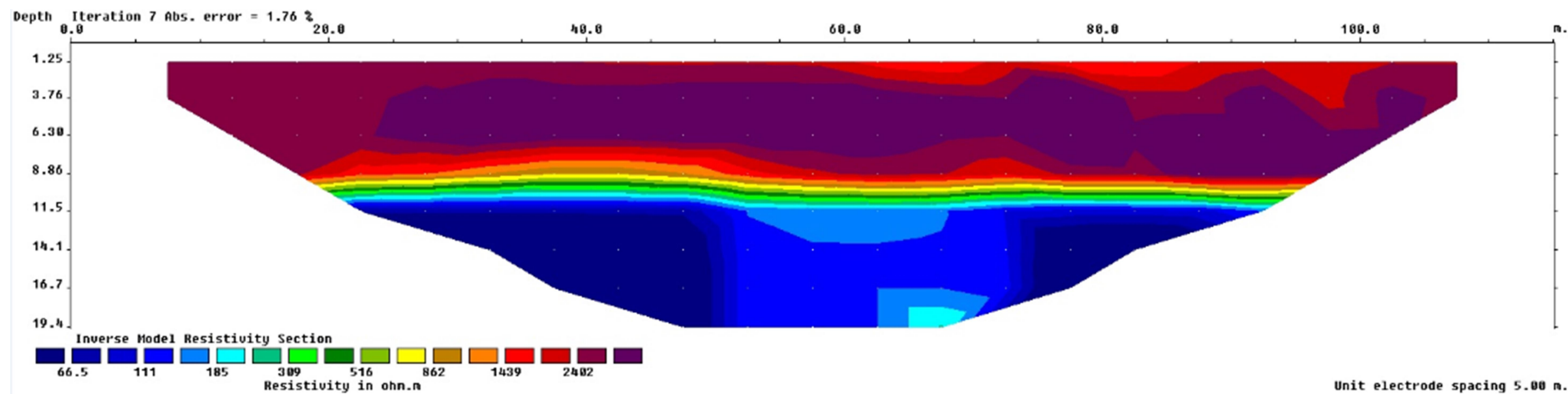
Dubina [m]	Otpornost [ $\Omega$ m]	Pretpostavljeni litološki opis
do 2,0	>1000	suhi šljunak
2,0 - 25	210	saturirani šljunak
25 – 94	71 - 135	izmjena prašinastog pijeska i pjeskovitog šljunka
> 94	24	glina / lapor

#### 4.4.2. Geoelektrična tomografija

Geoelektrična tomografija izvedena je na četiri profila (GP-1 do GP-4), dužine dispozitiva 115 m. Na temelju iskustvenih podataka za slične geoelektrične sredine, uz priložene podatke iz literature o specifičnom električnom otporu nekih materijala, interpretirane su geološke sredine u geoelektričnim profilima GP-1 i GP-4 (Slika 23a/b). Rezultati potvrđuju horizontalnu litološku uslojenost tla, bez vidljivih lateralnih promjena i odstupanja.



Slika 23a. Rezultat geoelektrične tomografije u profilu GP-1 (Donji Vidovec)

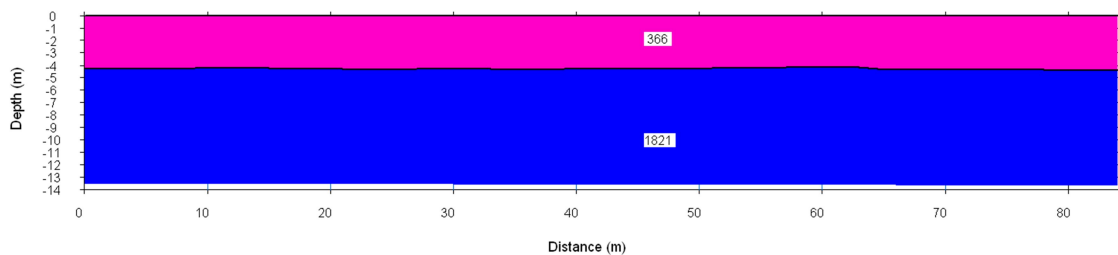


Slika 23b. Rezultat geoelektrične tomografije u profilu GP-4 (Donji Vidovec)

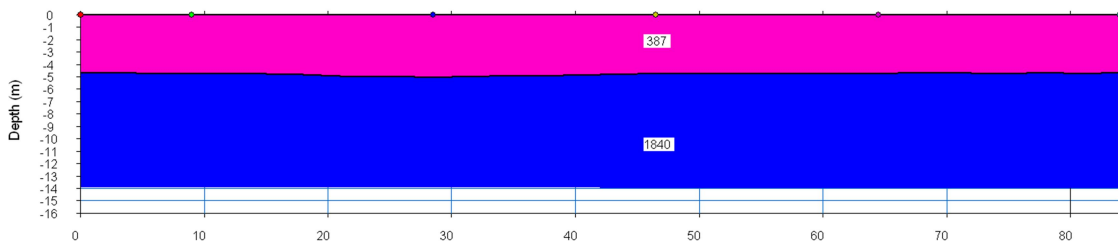
#### 4.4.3. Seizmička refrakcija

Plitka seizmička refrakcija, odnosno refrakcijska tomografija provedena je s P valovima. Seizmički dispozitiv se sastojao od 24 vertikalna geofona frekvencije 4.5 Hz za snimanje P valova. Geofonski razmak iznosio je 3 m. Podaci mjerenja su interpretirani računalom aplikacijom SeisIMAGER 4.0.1.6., OYO Corporation 2004-2009.

Ograničenje refrakcijske metode je porast brzine seizmičkih valova s dubinom. Tako nije moguće interpretirati sloj niže brzine ispod sloja više brzine nego je konačni rezultat prikaz na kojemu brzine seizmičkih valova rastu sa dubinom. Na slici 24a/b prikazan je rezultat interpretacije seizmičkih profila RF-1 i RF-3. Profili jasno označavaju granicu između površinskih suhих ( $V_p = 366-388$  m/s) i podinskih saturiranih sedimenata ( $V_p = 1821 - 1855$  m/s), odnosno razinu podzemne vode.



Slika 24a. 2D profil brzine kompresijskih seizmičkih valova izmjeren na RF-1

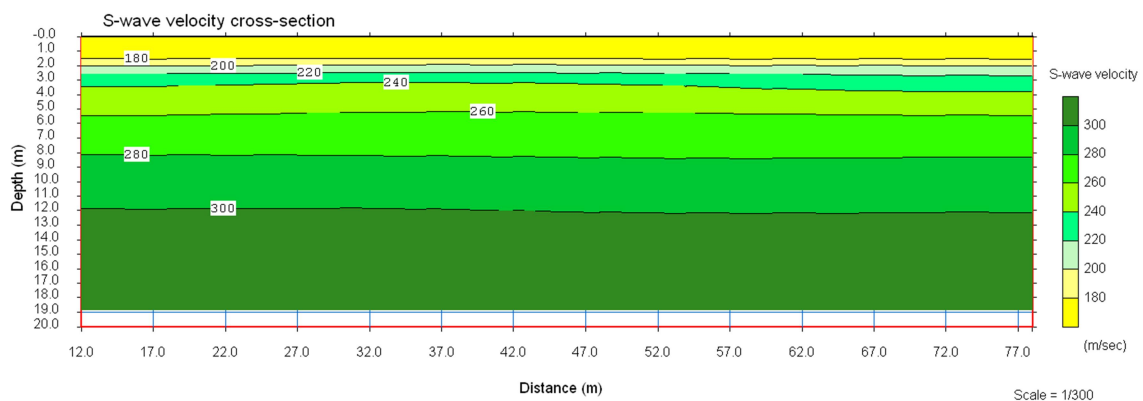


Slika 24b. 2D profil brzine kompresijskih seizmičkih valova izmjeren na RF-3

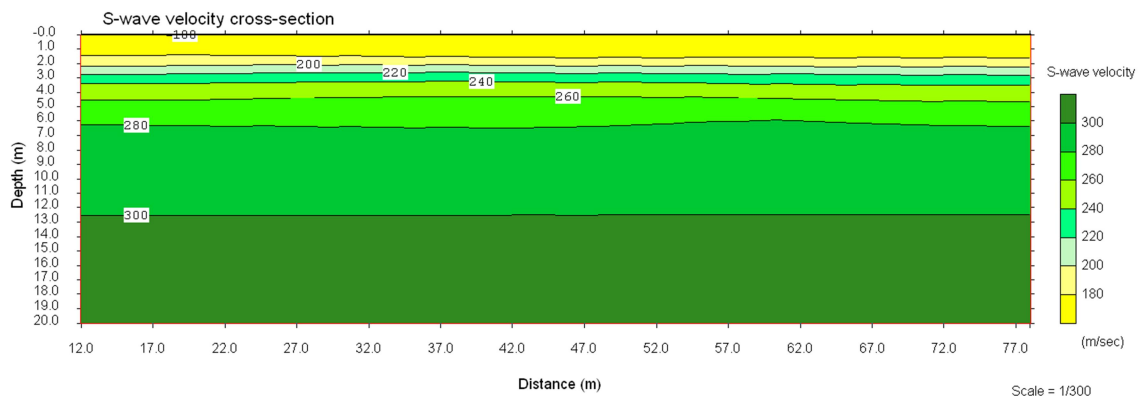
#### 4.4.4. Višekanalna analiza površinskih valova

MASW dispozitiv sastojao se od 24 vertikalna geofona frekvencije 4.5 Hz, postavljena na međusobnom razmaku od 3 m i istovjetan je dispozitivu za snimanje plitke refrakcijske seizmike. Pri interpretaciji MASW mjerenja koristi se fundamentalni ili osnovni mod.

Interpretacija mjerene krivulje disperzije na lokacijama dispozitiva MASW-1 do MASW-3, Donji Vidovec, provedena je računalnom aplikacijom SeisIMAGER 4.0.1.6., OYO Corporation 2004-2009. Na slici 25a/b prikazan je rezultat interpretacije MASW-1 i MASW-2, odnosno brzina posmičnih valova  $V_s$  po dubini tla.

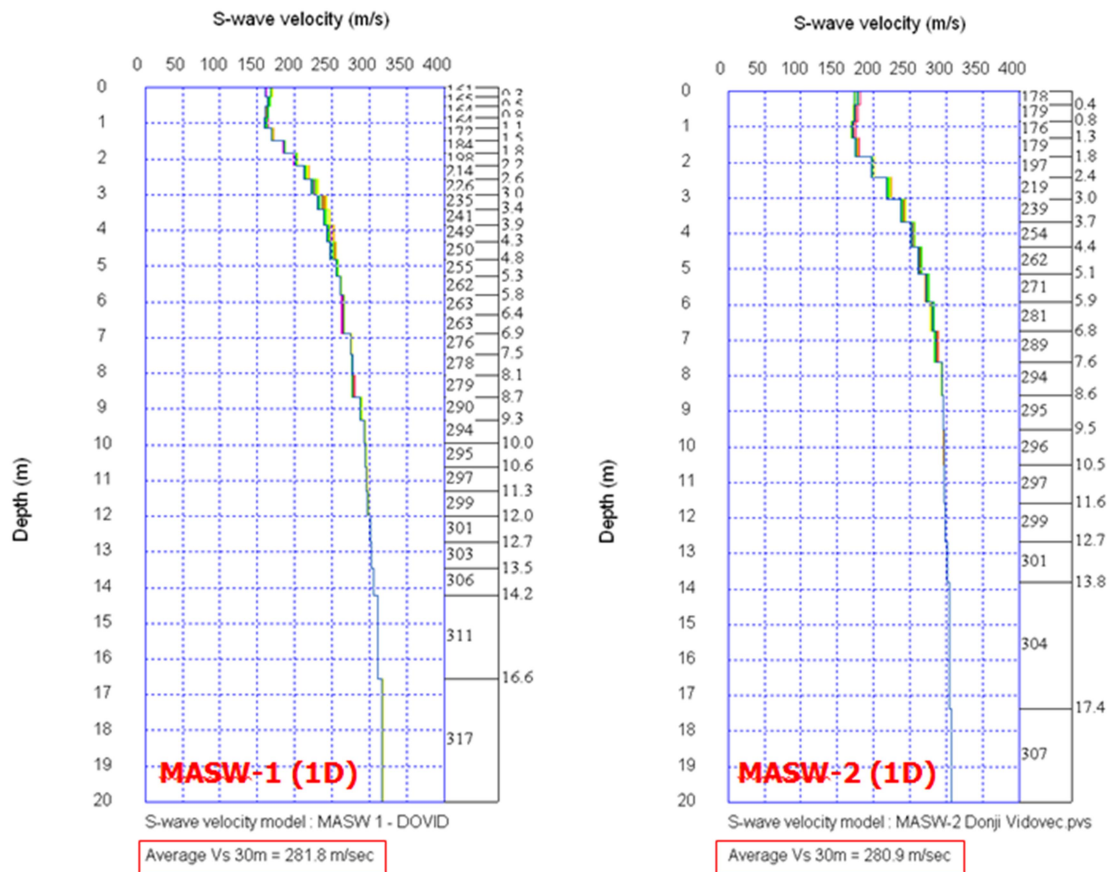


Slika 25a. 2D profil brzine posmičnih seizmičkih valova ( $V_s$ ) izmjeren na MASW-1



Slika 25b. 2D profil brzine posmičnih seizmičkih valova ( $V_s$ ) izmjeren na MASW-2

Iz interpretacije rezultata snimanja MASW na slici 26, vidljivo je da brzine posmičnih valova  $V_s$  imaju trend blagog porasta sa dubinom, a odgovaraju  $V_s = 160 - 310$  m/s. Brzina  $V_s = 160 - 250$  m/s u plićem intervalu, do 3,5 m, ukazuje na površinske prašinate materijale i šljunke. Brzina  $V_s = 250 - 310$  m/s odgovara aluvijalnim šljuncima veće zbijenosti. Razlučiva dubina interpretacije iznosi 20,0 m čime su obuhvaćeni samo šljunkoviti sedimenti na istražnoj lokaciji. Pomoću brzine posmičnih valova određuje se korelacijom krutost materijala iskazana u tablici 8.



Slika 26. 1D profil brzine posmičnih seizmičkih valova po dubini izmjeren na MASW-1 i MASW-2

Tablica 8. Korelacija između krutosti materijala i brzine posmičnih valova

Krutost materijala	Brzina posmičnih valova	
	metara/sekundi	stopa/sekundi
Vrlo meka	< 100	< 300
Meka	100 - 300	300 - 1000
Čvrsta	200 - 500	600 - 1700
Vrlo čvrsta	500 ili više	1700

## 5. ZAKLJUČAK

Osnovom izvedenih terenskih istražnih radova (te uz geostatičke analize) za potrebe temeljenja bioplinskog postrojenja u Donjem Vidovcu može se zaključiti kako je temeljno tlo geomehanički pogodno za izgradnju građevina.

Geotehnički istražni radovi na predmetnoj lokaciji uključuju 21 (dvadeset i jednu) sondažnu bušotinu, dubine 6,0 do maksimalno 35,0 m, 12 (dvanaest) dinamičkih penetracijskih sondi (DPH) prema DIN 4094 standardu, kao i geofizička ispitivanja. Od geofizičkih ispitivanja istražni radovi uključuju dvije geoelektrične metode: vertikalno električno sondiranje i 2D električna tomografija; dvije seizmičke metode: plitka seizmička refrakcija (RF) i višekanalna analiza površinskih valova (MASW).

Istražnim bušenjem te klasifikacijom nabušene jezgre utvrđen je litološki raspored slojeva tla. Generalno, istražnu lokaciju grade aluvijalni sedimenti šljunka, zbijenog do vrlo zbijenog stanja, do okvirne dubine 24 m, dublje kojih zaliježu pijesci poluvezani prašinstim i glinovitim materijalom klasificirani kao srednje zbijeni do zbijeni. Tijekom istražnog bušenja razina podzemne vode registrirana je na dubini  $RPV = 3,5 - 4,7$  m, mjereno od razine terena. Za potrebe praćenja razine podzemne vode na lokaciji izbušena su i ugrađena tri piezometra, iz kojih su uzeti uzorci podzemne vode za potrebe ispitivanja fizikalnih i kemijskih svojstava.

Geofizička istraživanja dodatno su potvrdila nalaze istražnog bušenja, te su vrijedan dodatak provedenim radovima. Rezultat električnog sondiranja na jednoj sondi (GS-1) daje uvid u dubinu zalijeganja šljunkovitih sedimenata, koja iznosi 25 m. U nastavku, a do 94 m, slijede u izmjeni prašinsti pijesci i pjeskoviti šljunci, kojim podinu predstavlja glina ili lapor. Rezultat profiliranja na četiri snimljena profila (GP) potvrđuje horizontalnu litološku uslojenost tla. Tri refrakcijska profila (RF) jasno označavaju razinu podzemne vode. Višekanalna analiza površinskih valova (MASW) prikazana je u 2D i 1D profilima  $V_s$  brzina posmičnih valova po dubini. Brzina

posmičnih valova važan je podatak o krutosti naslaga, te je iz snimljenih profila moguće donijeti zaključke o litološkom profilu istražne lokacije.

Cilj svih geotehničkih istraživanja jest dobivanje geotehničkog profila tla odnosno prostorne raspodjele onih svojstava tla, prvenstveno mehaničkih, koja bitno utječu na stabilnost, uporabivost i ekonomičnost razmatrane građevine i njene okoline tijekom izvođenja građevinskih radova. Istražne radove treba pažljivo isplanirati. Valja uzeti u obzir prilike u tlu, broj raspoloživih postupaka za prikupljanje podataka, razlike u njihovoj pogodnosti za utvrđivanje vrste i pojedinog svojstva tla, cijenu (financijski aspekt), kao i razlike u vrstama podataka koje treba prikupiti za različite vrste građevina i građevinskih zahvata. Planiranjem dakle, treba sve te razlike uzeti u obzir kako bi prikupljeni podaci omogućili sigurnu i ekonomičnu gradnju i kasnije uporabu građevine.

## 6. POPIS LITERATURE

- Ivanković, T. (2010). *Geotehnički istražni radovi*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin. pogl. 3
- Kavur, B. (2015): *Materijali s predavanja iz Geotehničkog praktikuma 1 u ak. godini 2015./2016*. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin.
- Look, B. G. (2014). *Handbook of geotechnical investigation and design tables*. Second Edition. Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press/Balkema. pp. 47-51
- Matešić, L. (2010). *Geotehničko inženjerstvo*. Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka.
- Nonveiller, E. (1979). *Mehanika tla i temeljenje građevina*. Zagreb: Školska knjiga. (str. 50-86)
- Roje-Bonacci, T. (2012). *Zemljani radovi*. Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije. Sveučilište u Splitu. str.11-57.
- Strelec, S. (2011.). *Geotehnički elaborat temeljenja bioplinskog postrojenja, popratnih građevina i infrastrukture za postrojenje "biop dovid" u Donjem Vidovcu*. Varaždin.
- Strelec, S. (2012.). *Podpovršinski istražni radovi: interna skripta*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin.
- Szavits - Nossan, V. (2006). *Mehanika tla i stijena*. pogl. 14. [Online]. Dostupno na: <https://www.scribd.com/doc/267532867/Mehanika-tla-teorija> [05.06.2017.]



## Popis slika

Slika 1. Primjer geološkog profila

Slika 2. Primjer sondažnog profila

Slika 3. Bušenje s jezgrovanjem, jezgrovanje s jednostrukom jezgrenom (sržnom) cijevi

Slika 4. Drveni sanduk za odlaganje jezgre iz jezgrene cijevi

Slika 5. Cilindar za SPT standardnih dimenzija prema ASTM

Slika 6. Postupak ispitivanja standardnim penetracijskim pokusom

Slika 7. Šiljak DPH sonde

Slika 8. Osnovna konstrukcija piezometra

Slika 9. Princip rada aparata za izravni posmik

Slika 10. Mehanička tresalica sa odgovarajućim sitima različitih promjera otvora

Slika 11. Primjer granulometrijskih krivulja, dijagram

Slika 12. Prikaz otpornosti nekih materijala

Slika 13. Schlumbergerov mjerni raspored

Slika 14. Wenner-ov raspored

Slika 15. Snellov zakon

Slika 16. Širenje Rayleigh-ovog vala

Slika 17. Prikaz sondažne jezgre bušotine B-12

Slika 18a. Sondažni profil bušotine B-12

Slika 18b. Sondažni profil bušotine B-12

Slika 19. Granulometrijski dijagram i rezultati laboratorijskog ispitivanja uzoraka bušotine B-4

Slika 20. Graf funkcije  $D_r = D_r(N)$

Slika 21. Iskustvene vrijednosti kuta unutrašnjeg trenja za nekoherentna tla

Slika 22. Izmjereni geoelektrični profil na sondi GS-1

Slika 23a. Rezultat geoelektrične tomografije u profilu GP-1 (Donji Vidovec)

Slika 23b. Rezultat geoelektrične tomografije u profilu GP-4 (Donji Vidovec)

Slika 24a. 2D profil brzine kompresijskih seizmičkih valova izmjeren na RF-1

Slika 24b. 2D profil brzine kompresijskih seizmičkih valova izmjeren na RF-3

Slika 25a. 2D profil brzine posmičnih seizmičkih valova ( $V_s$ ) izmjeren na MASW-1

Slika 25b. 2D profil brzine posmičnih seizmičkih valova ( $V_s$ ) izmjeren na MASW-2

Slika 26. 1D profil brzine posmičnih seizmičkih valova po dubini izmjeren na MASW-1 i MASW-2

## **Popis tablica**

Tablica 1. Iskustvena ljestvica iskoristivosti pojedinog tipa pokusa prema bodovanju od 1 do 5 (Prema preporuci IGH)

Tablica 2. Povezanost broja udaraca (N) sa zbijenošću pijeska i konzistencijom koherentnog tla

Tablica 3a. Prikaz rezultata standardnog penetracijskog pokusa

Tablica 3b. Prikaz rezultata standardnog penetracijskog pokusa

Tablica 4. Tabelarni prikaz razine podzemne vode prilikom bušenja

Tablica 5. Granulometrijski sastav uzoraka

Tablica 6. Korelacija  $N - M_s$  u pijescima i šljuncima

Tablica 7. Izmjereni geoelektrični profil na sondi GS-1

Tablica 8. Korelacija između krutosti materijala i brzine posmičnih valova

## **Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu**

USCS (Unified Soil Classification System) - jedinstvena (objedinjena) klasifikacija tla

DPH (Dynamic Probing Heavy) - teška udarna sonda

SPT (Standard Penetration Test) - standardni penetracijski pokus

CPT (Cone Penetration Test) - statički penetracijski pokus

VES - vertikalno električno profiliranje, odnosno geoelektrično sondiranje

RF - seizmička refrakcija; jedna od geofizičkih metoda istraživanja

MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) - višekanalna analiza površinskih valova; jedna od geofizičkih metoda istraživanja

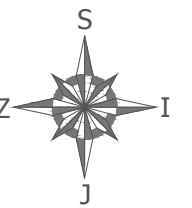
DIN (Deutsches Institut für Normung) - njemačka norma

ASTM (American Society for Testing and Materials) - američka norma za ispitivanje materijala

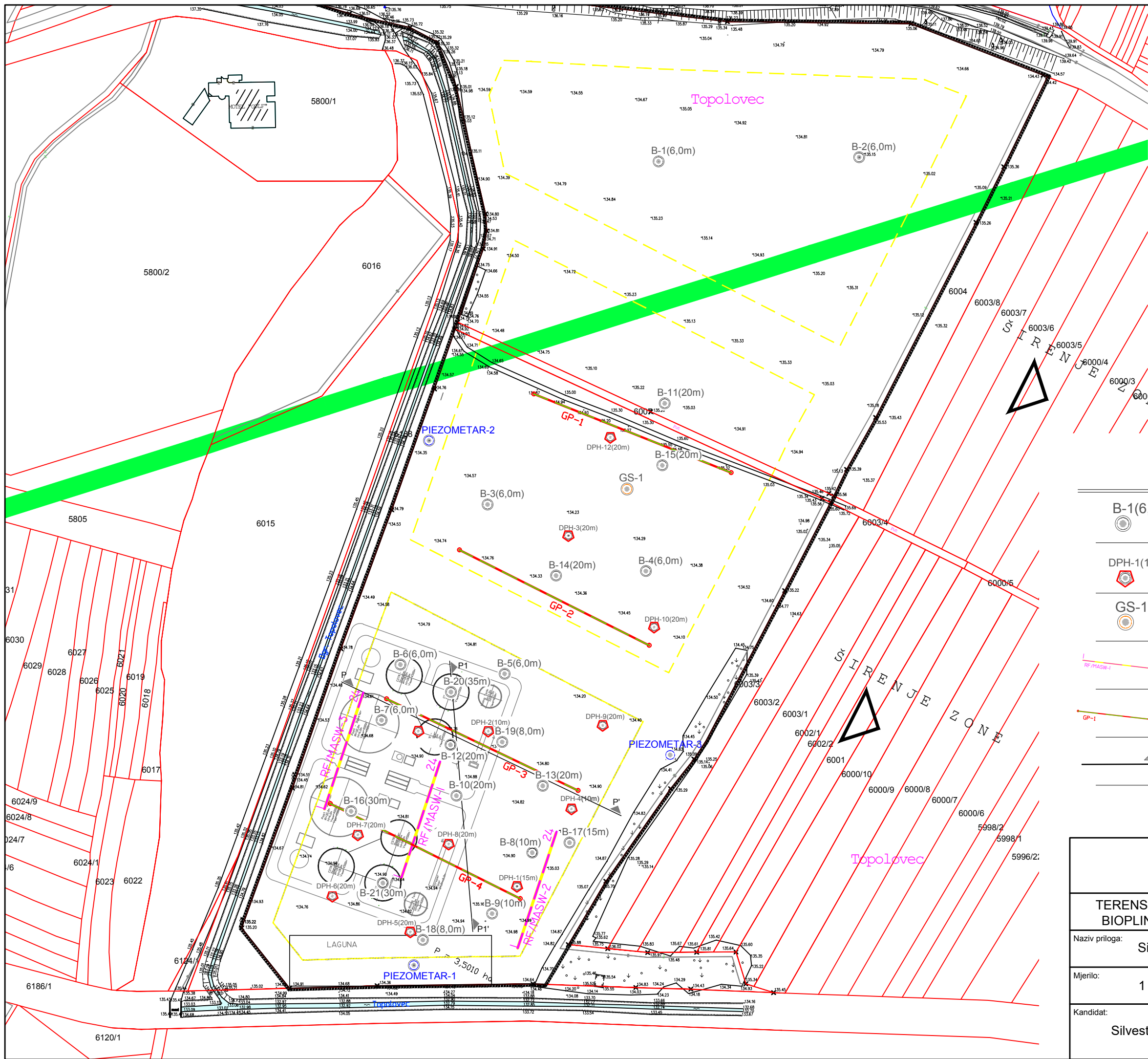
IGH - Institut građevinarstva Hrvatske

RPV - razina podzemne vode

## **GRAFIČKI PRILOZI**



**SITUACIJA**  
**MJ 1:2000**  
**DONJI VIDOVEC**  
**Bioplinsko postrojenje**



**TUMAČ**

	istažna bušotina (dubina bušenja)
	dinamička sonda, Teška udarna sonda (DPH)
	geoelektrična sonda (VES)
	seizmički profil (RF/MASW)
	geoelektrični profil
	geotehnički profil tla

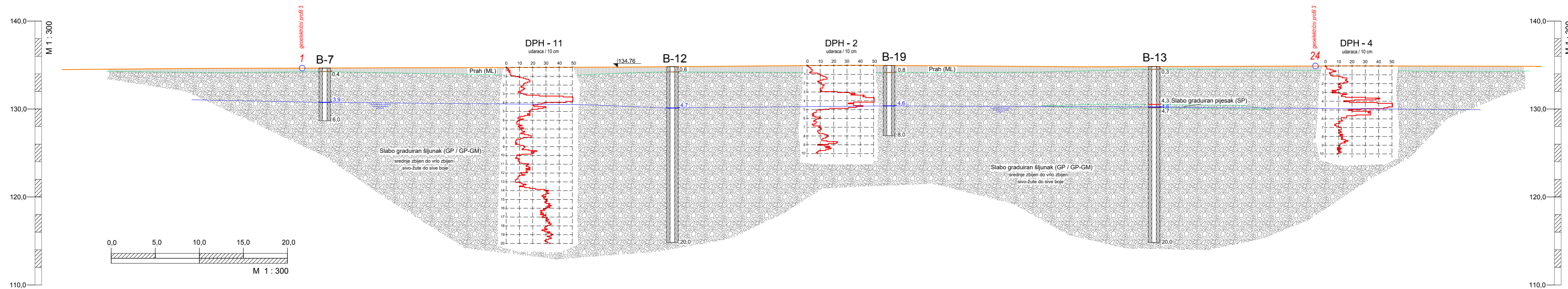
<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b> <b>GEOTEHNIČKI FAKULTET</b>	
<b>TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE</b> <b>BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA</b>	
Naziv priloga: <b>Situacija</b>	Datum: <b>11.05.2017.</b>
Mjerilo: <b>1 : 2000</b>	Broj priloga: <b>Prilog 1</b>
Kandidat: <b>Silvestar Dregarić</b>	Mentor: <b>Izv. prof. dr. sc. Stjepan Strelec</b>

TUMAČ OZNAKA

P → P'	- oznaka geotehničkog profila
DPH	- oznaka terenske penetracije
B-7	- oznaka sondažne bušotine

Horizontalno mjerilo  $M_H$ : 1:300  
 Vertikalno mjerilo  $M_V$ : 1:300

P → P'



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
 GEOTEHNIČKI FAKULTET

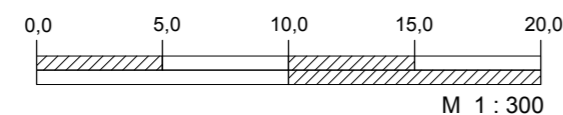
TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI U SVRHU IZGRADNJE  
 BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA

Naziv priloga: Geotehnički profil P-P'	Datum: 25.05.2017.
Mjerilo: 1 : 300	Broj priloga: Prilog 2, list 1
Kandidat: Silvestar Dregarić	Mentor: Izv. prof. dr. sc. Stjepan Strelec

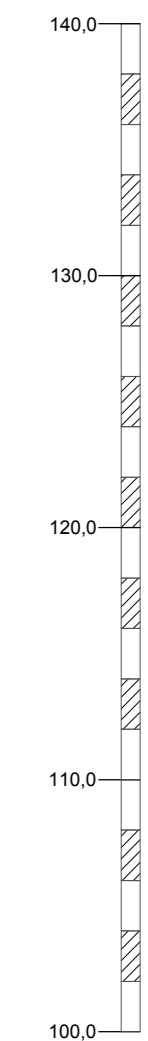
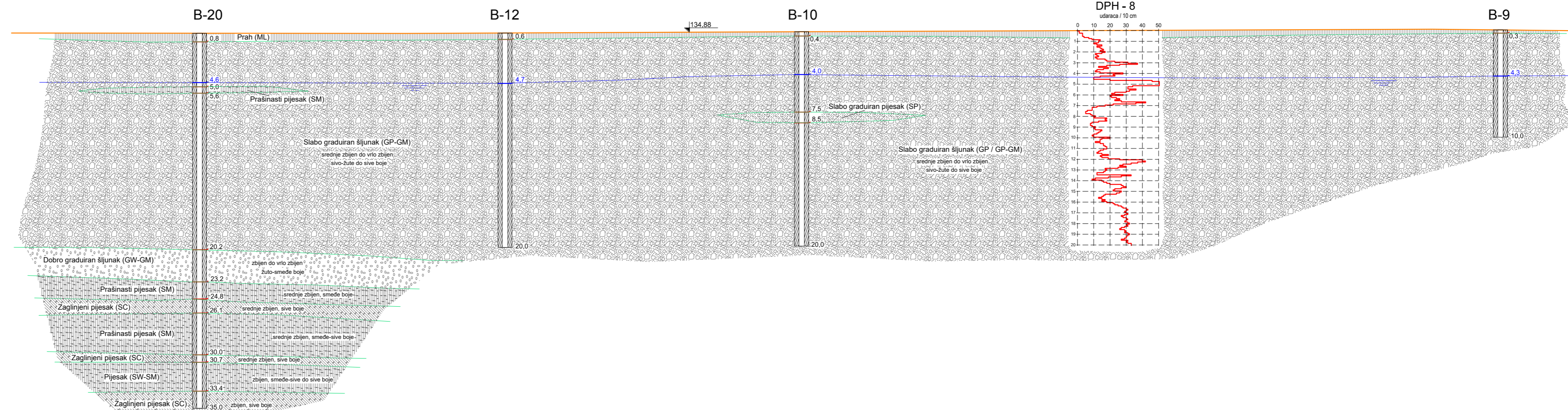
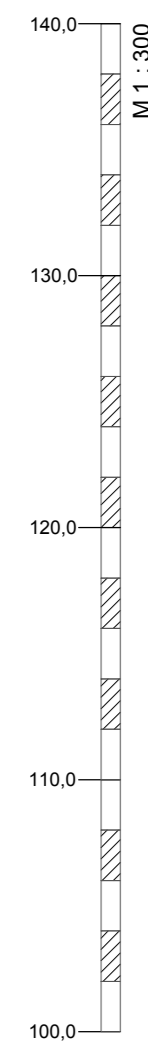
TUMAČ OZNAKA

P1	→ P1'	- oznaka geotehničkog profila
DPH		- oznaka terenske penetracije
B-9		- oznaka sondažne bušotine

Horizontalno mjerilo M<sub>H</sub>:1:300  
 Vertikalno mjerilo M<sub>V</sub>:1:300



P1 → P1'



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
 GEOTEHNIČKI FAKULTET

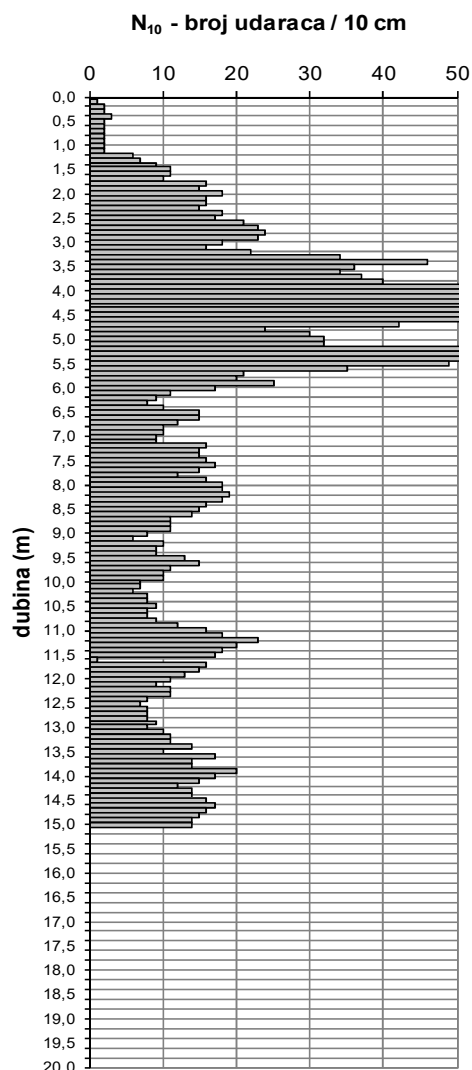
TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI U SVRHU IZGRADNJE  
 BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA

Naziv priloga: Geotehnički profil P1-P1'	Datum: 25.05.2017.
Mjerilo: 1 : 300	Broj priloga: Prilog 2, list 2
Kandidat: Silvestar Dregarić	Mentor: Izv. prof. dr. sc. Stjepan Strelec

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	DPH-1		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: <b>6 406 718</b>	y: <b>5 131 165</b>	z:

broj udaraca za penetraciju 10 cm									
0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
<b>2</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>18</b>
2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,90	3,00
<b>16</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>18</b>
3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80	3,90	4,00
<b>16</b>	<b>22</b>	<b>34</b>	<b>46</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>78</b>	<b>89</b>
4,10	4,20	4,30	4,40	4,50	4,60	4,70	4,80	4,90	5,00
<b>68</b>	<b>58</b>	<b>64</b>	<b>85</b>	<b>60</b>	<b>61</b>	<b>42</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>32</b>
5,10	5,20	5,30	5,40	5,50	5,60	5,70	5,80	5,90	6,00
<b>32</b>	<b>79</b>	<b>89</b>	<b>64</b>	<b>49</b>	<b>35</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>17</b>
6,10	6,20	6,30	6,40	6,50	6,60	6,70	6,80	6,90	7,00
<b>11</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>9</b>
7,10	7,20	7,30	7,40	7,50	7,60	7,70	7,80	7,90	8,00
<b>9</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>18</b>
8,10	8,20	8,30	8,40	8,50	8,60	8,70	8,80	8,90	9,00
<b>18</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>8</b>
9,10	9,20	9,30	9,40	9,50	9,60	9,70	9,80	9,90	10,00
<b>6</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>7</b>
10,10	10,20	10,30	10,40	10,50	10,60	10,70	10,80	10,90	11,00
<b>7</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>16</b>
11,10	11,20	11,30	11,40	11,50	11,60	11,70	11,80	11,90	12,00
<b>18</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>11</b>
12,10	12,20	12,30	12,40	12,50	12,60	12,70	12,80	12,90	13,00
<b>9</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>8</b>
13,10	13,20	13,30	13,40	13,50	13,60	13,70	13,80	13,90	14,00
<b>10</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>17</b>
14,10	14,20	14,30	14,40	14,50	14,60	14,70	14,80	14,90	15,00
<b>15</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>14</b>
15,10	15,20	15,30	15,40	15,50	15,60	15,70	15,80	15,90	16,00
16,10	16,20	16,30	16,40	16,50	16,60	16,70	16,80	16,90	17,00
17,10	17,20	17,30	17,40	17,50	17,60	17,70	17,80	17,90	18,00
18,10	18,20	18,30	18,40	18,50	18,60	18,70	18,80	18,90	19,00
19,10	19,20	19,30	19,40	19,50	19,60	19,70	19,80	19,90	20,00



Masa utega: 50 kg

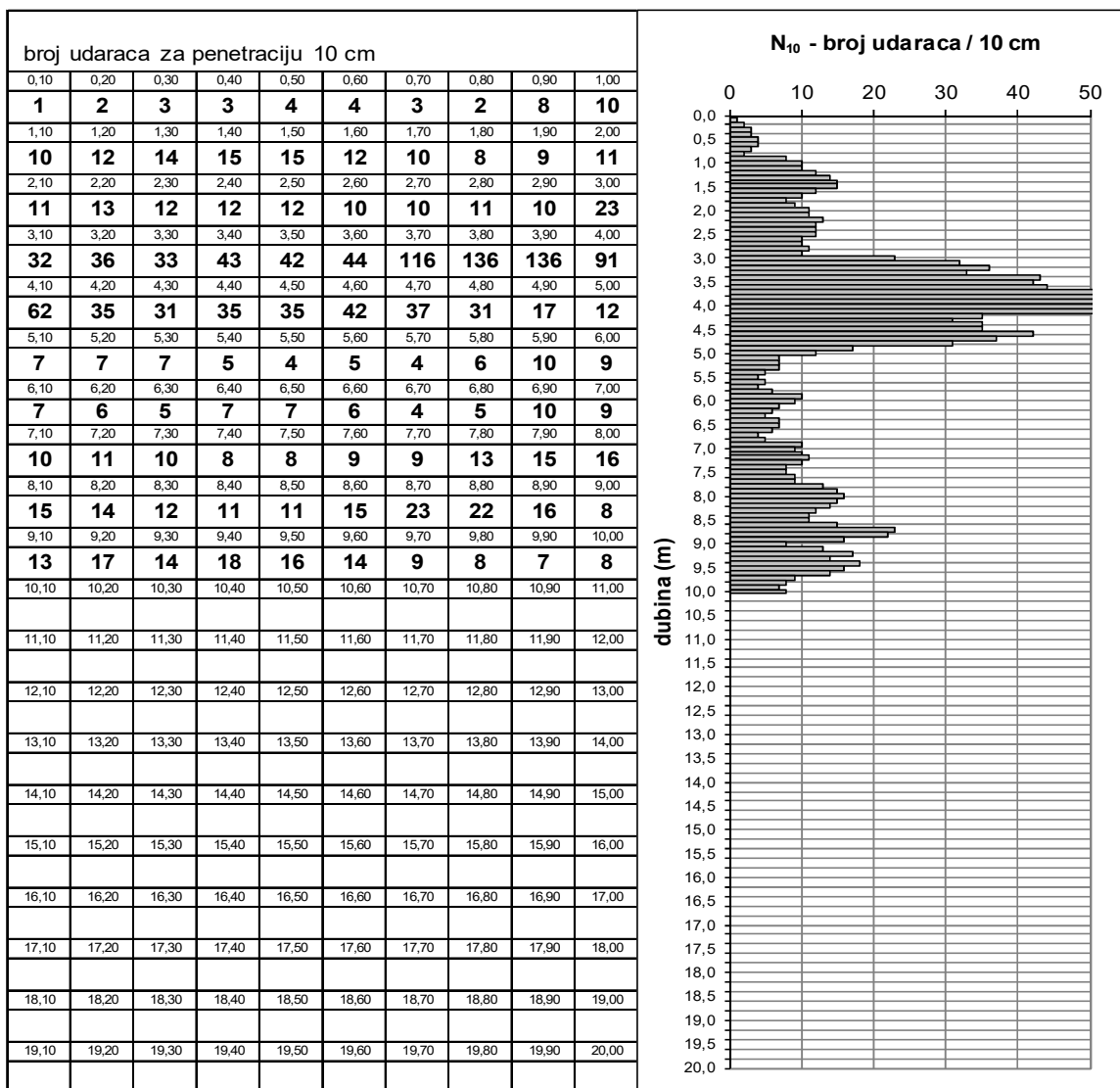
Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU</b>	
<b>GEOTEHNIČKI FAKULTET</b>	
TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA	
Naziv priloga: <b>DPH-1</b>	Datum: <b>01.06.2017.</b>
Mjerilo: -	Broj priloga: <b>Prilog 3, List 1</b>
Kandidat: <b>Silvestar Dregarić</b>	Mentor: <b>Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec</b>

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	DPH-2		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: 6 406 703	y: 5 131 249	z:



Masa utega: 50 kg

Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

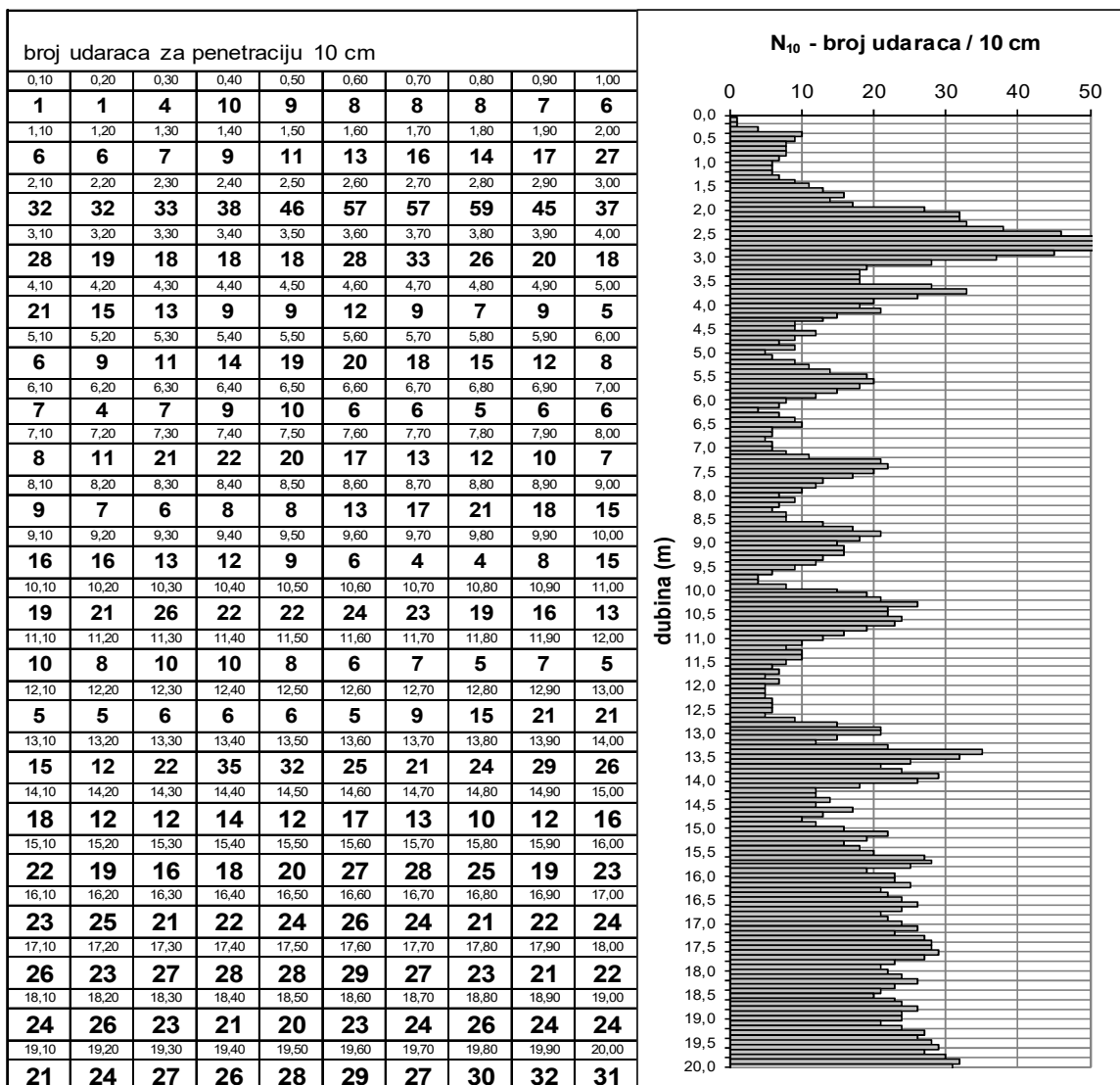
Visina pada: 50 cm

<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET</b>	
TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA	
Naziv priloga: DPH-2	Datum: 01.06.2017.
Mjerilo: -	Broj priloga: Prilog 3, List 2
Kandidat: Silvestar Dregarić	Mentor: Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec



## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	<b>DPH-3</b>		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: <b>6 406 746</b>	y: <b>5 131 355</b>	z:



Masa utega: 50 kg

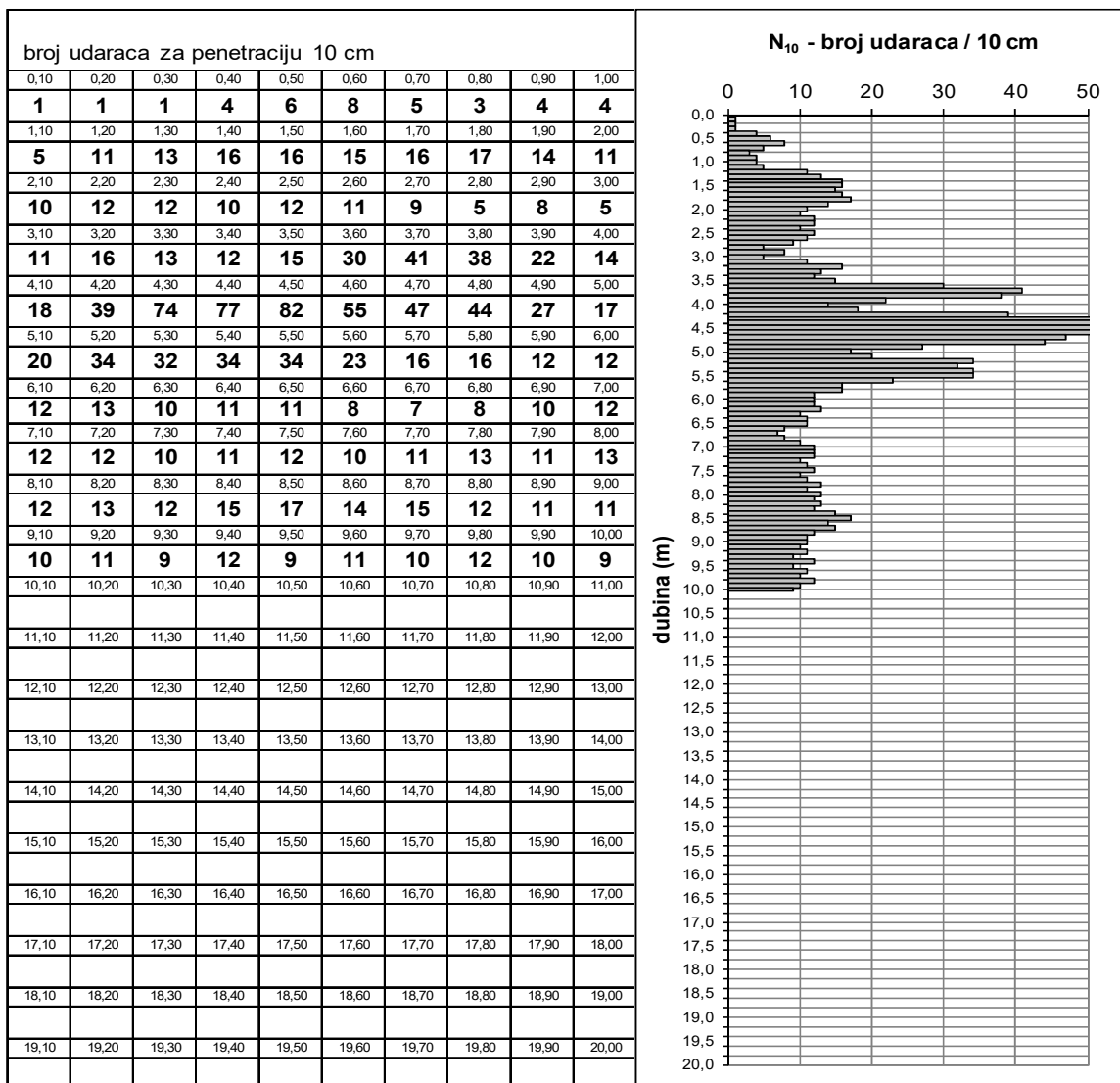
Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET</b>	
TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA	
Naziv priloga: <b>DPH-3</b>	Datum: <b>01.06.2017.</b>
Mjerilo: -	Broj priloga: <b>Prilog 3, List 3</b>
Kandidat: <b>Silvestar Dregarić</b>	Mentor: <b>Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec</b>

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	<b>DPH-4</b>		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: <b>6 406 748</b>	y: <b>5 131 207</b>	z:



Masa utega: 50 kg

Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

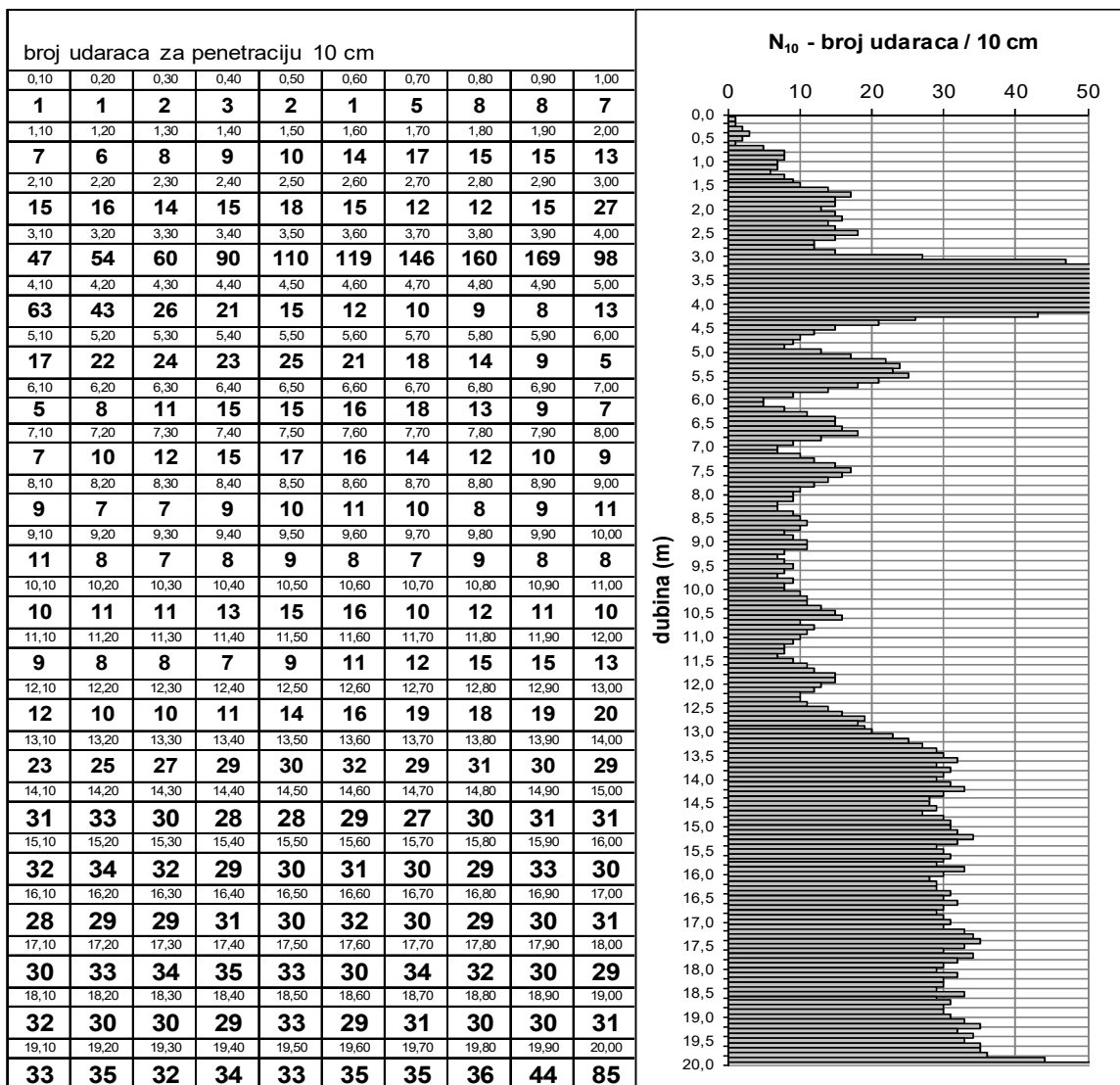
### SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET

#### TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA

Naziv priloga: <b>DPH-4</b>	Datum: <b>01.06.2017.</b>
Mjerilo: <b>-</b>	Broj priloga: <b>Prilog 3, List 4</b>
Kandidat: <b>Silvestar Dregarić</b>	Mentor: <b>Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec</b>

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	DPH-5		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: 6 406 660	y: 5 131 140	z:



Masa utega: 50 kg

Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

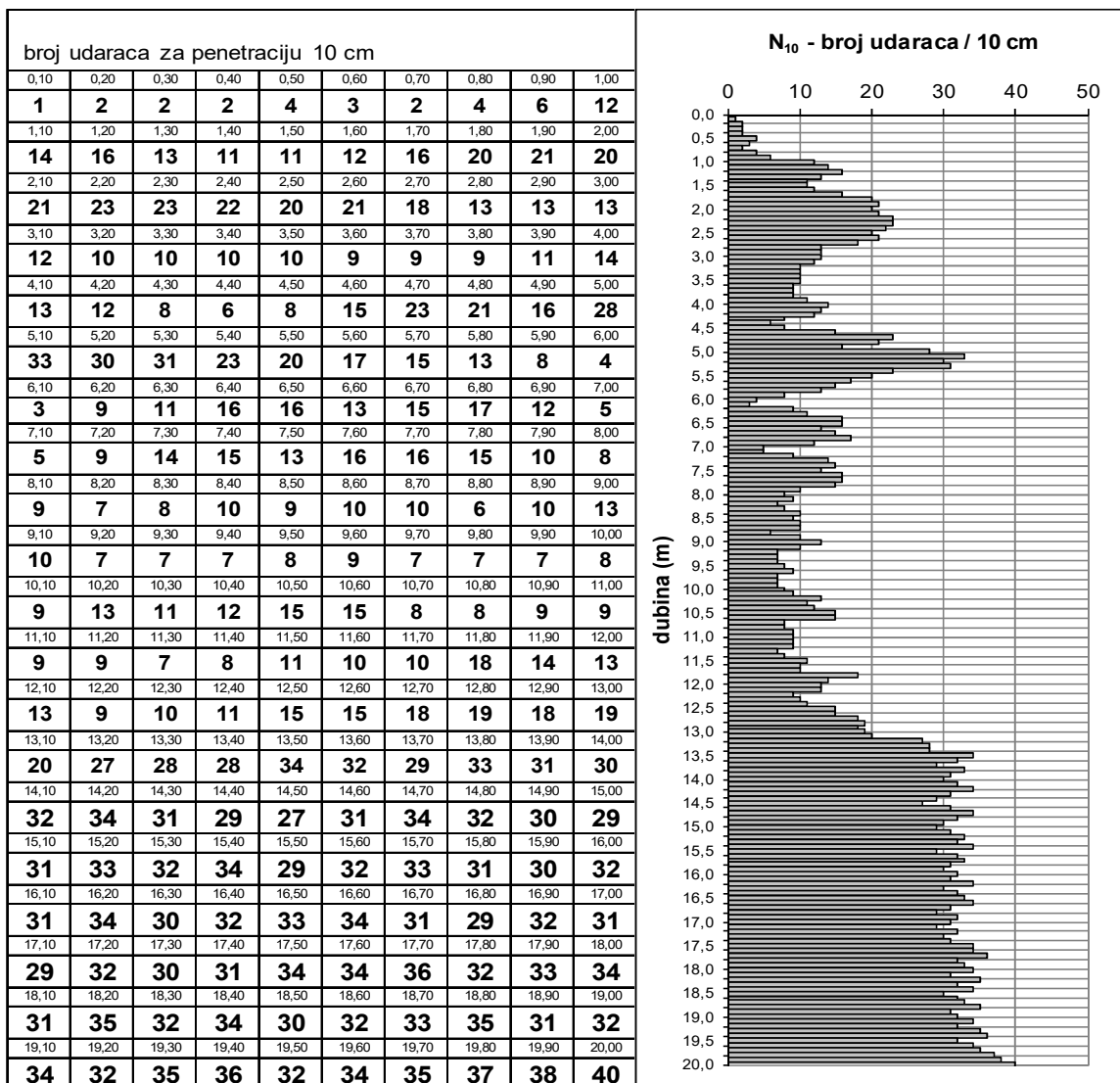
### SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET

#### TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA

Naziv priloga: DPH-5	Datum: 01.06.2017.
Mjerilo: -	Broj priloga: Prilog 3, List 5
Kandidat: Silvestar Dregarić	Mentor: Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	<b>DPH-6</b>		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: <b>6 406 618</b>	y: <b>5 131 160</b>	z:



Masa utega: 50 kg

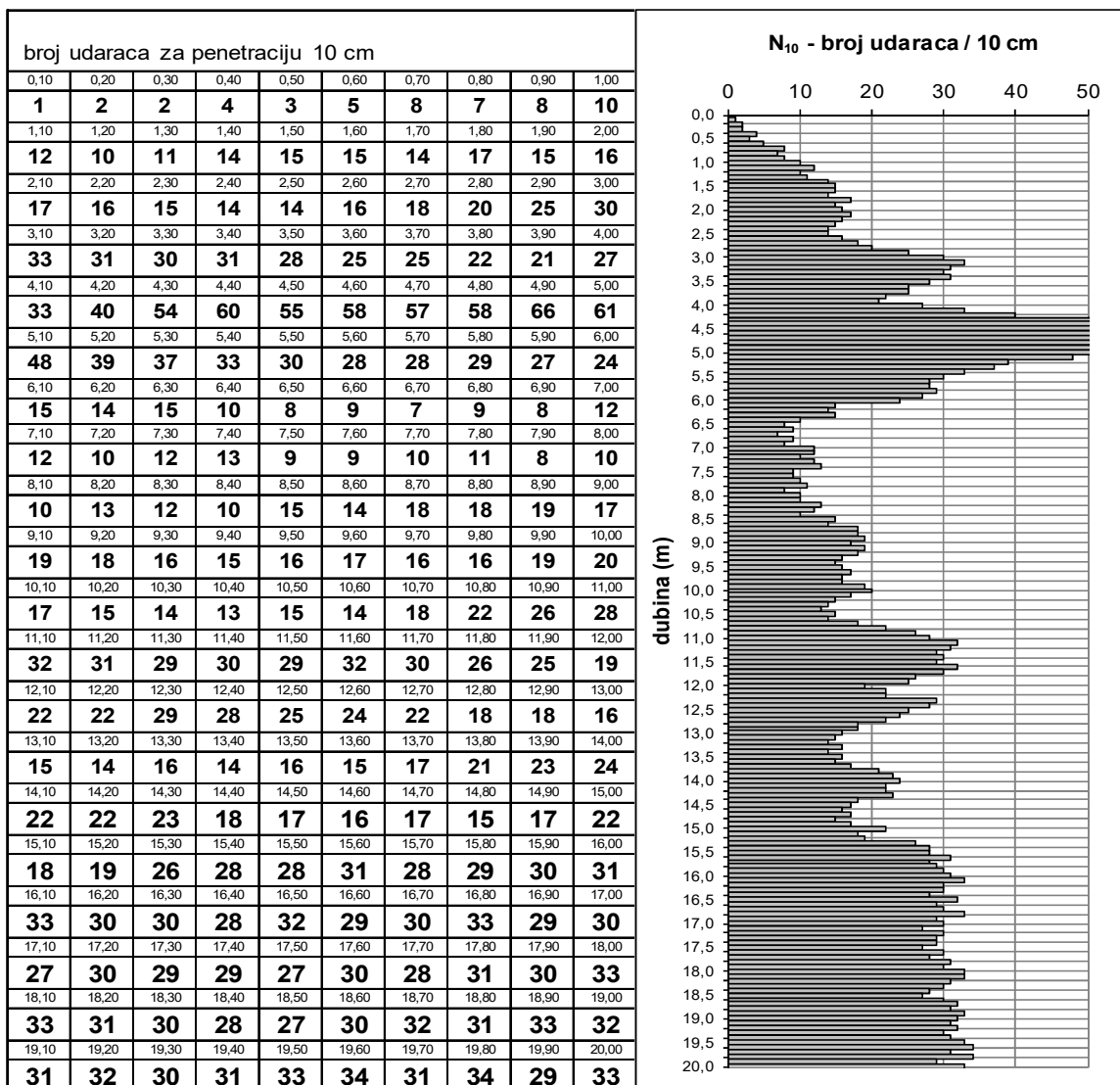
Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET</b>	
TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA	
Naziv priloga: <b>DPH-6</b>	Datum: <b>01.06.2017.</b>
Mjerilo: <b>-</b>	Broj priloga: <b>Prilog 3, List 6</b>
Kandidat: <b>Silvestar Dregarić</b>	Mentor: <b>Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec</b>

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	DPH-7		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: 6 406 632	y: 5 131 193	z:



Masa utega: 50 kg

Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

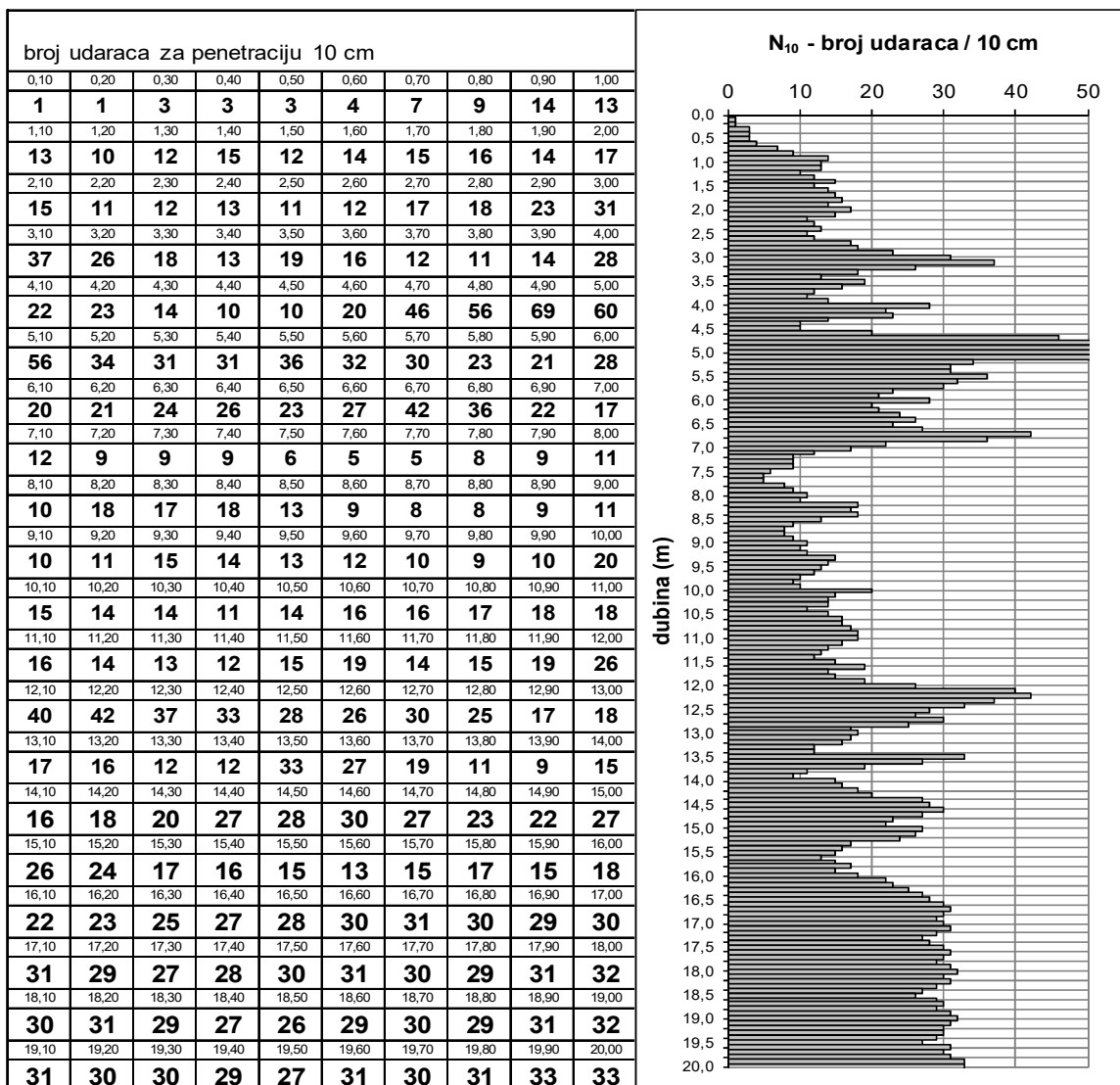
### SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET

#### TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA

Naziv priloga:	Datum:
DPH-7	01.06.2017.
Mjerilo:	Broj priloga:
-	Prilog 3, List 7
Kandidat:	Mentor:
Silvestar Dregarić	Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	DPH-8		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: 6 406 681	y: 5 131 188	z:



Masa utega: 50 kg

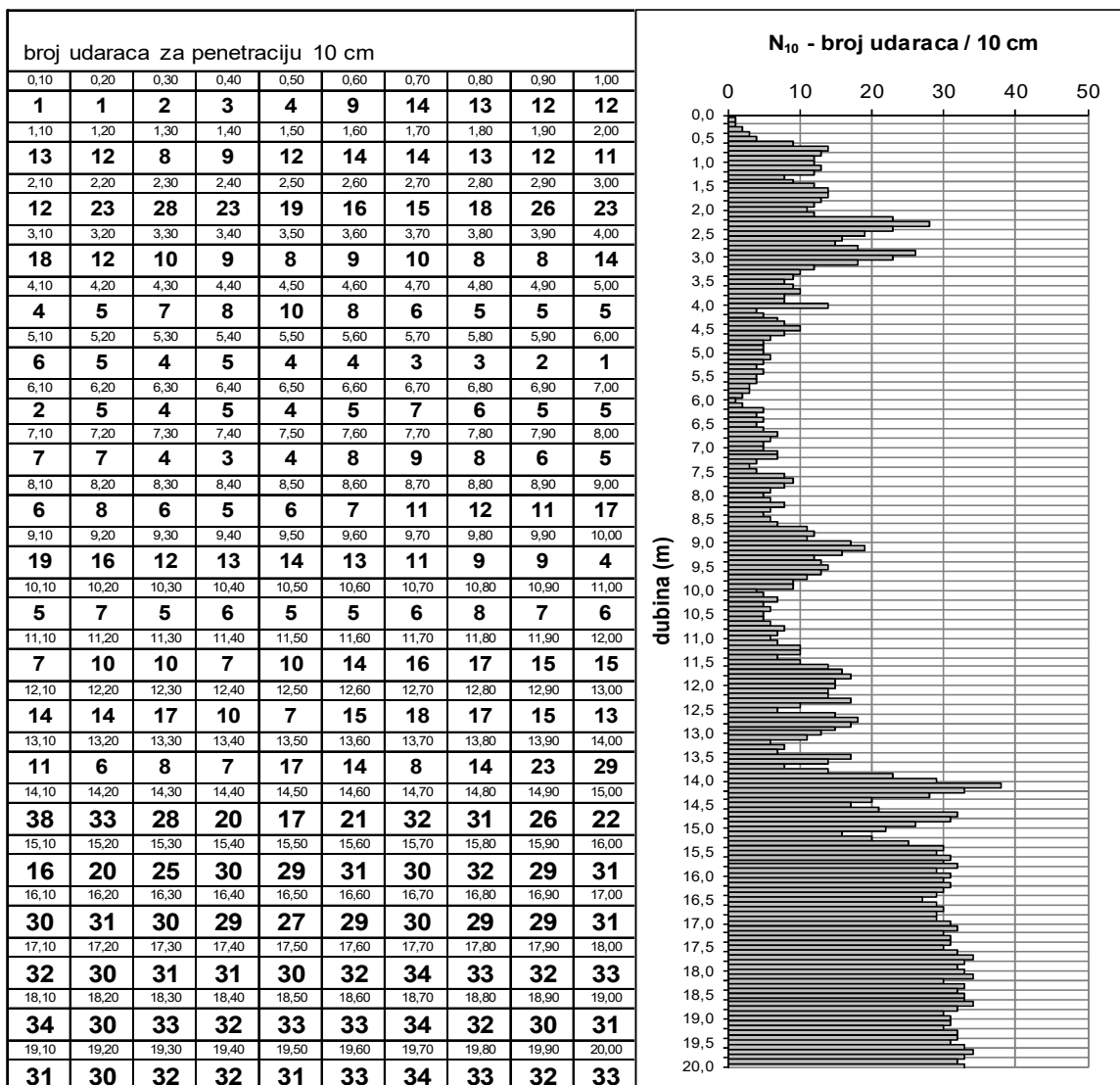
Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET</b>	
TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA	
Naziv priloga: <b>DPH-8</b>	Datum: <b>01.06.2017.</b>
Mjerilo: -	Broj priloga: <b>Prilog 3, List 8</b>
Kandidat: <b>Silvestar Dregarić</b>	Mentor: <b>Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec</b>

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	DPH-9		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: 6 406 764	y: 5 131 252	z:



Masa utega: 50 kg

Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

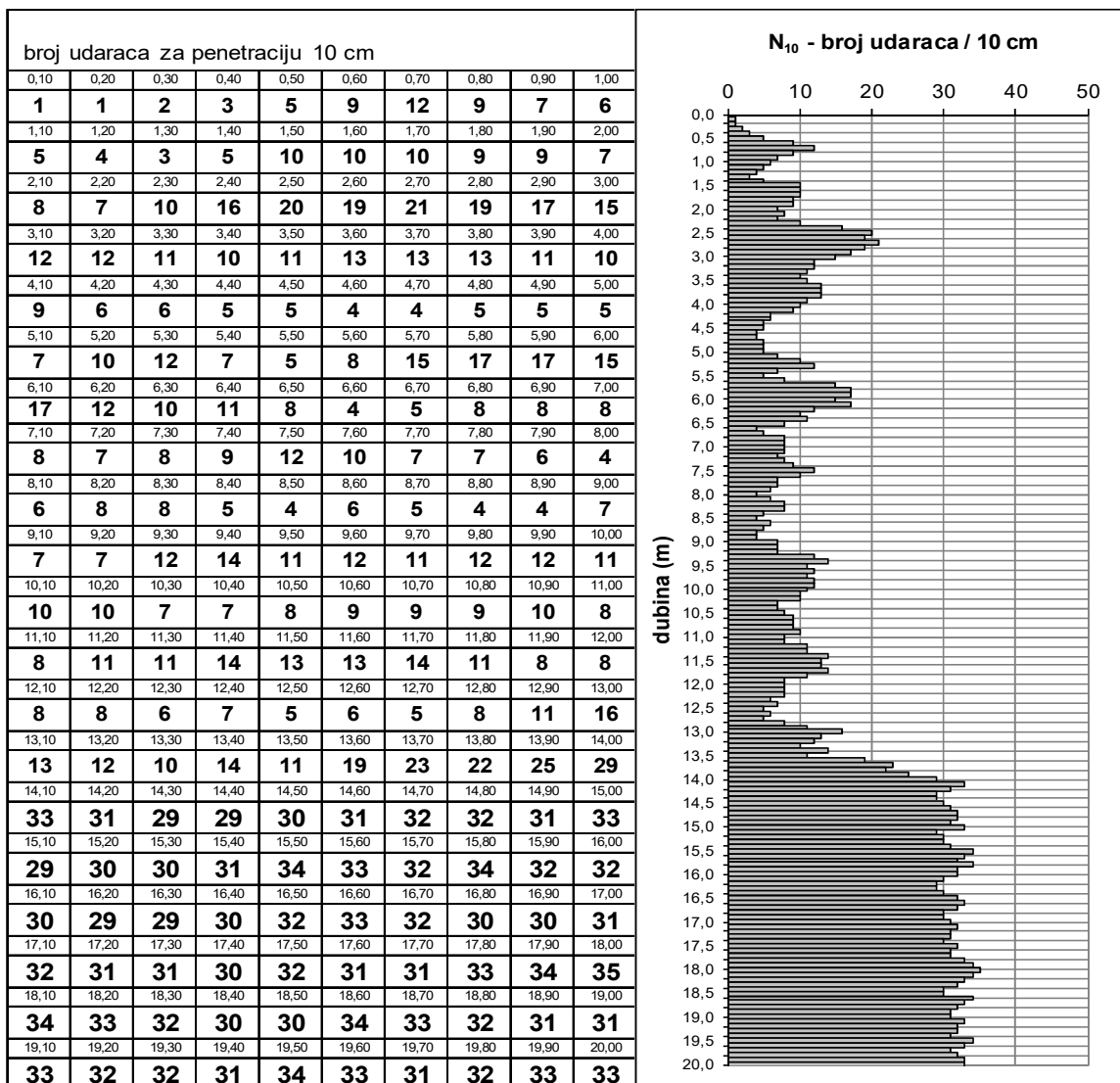
### SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET

#### TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA

Naziv priloga:	Datum:
DPH-9	01.06.2017.
Mjerilo:	Broj priloga:
-	Prilog 3, List 9
Kandidat:	Mentor:
Silvestar Dregarić	Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	<b>DPH-10</b>		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: <b>6 406 792</b>	y: <b>5 131 305</b>	z:



Masa utega: 50 kg

Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

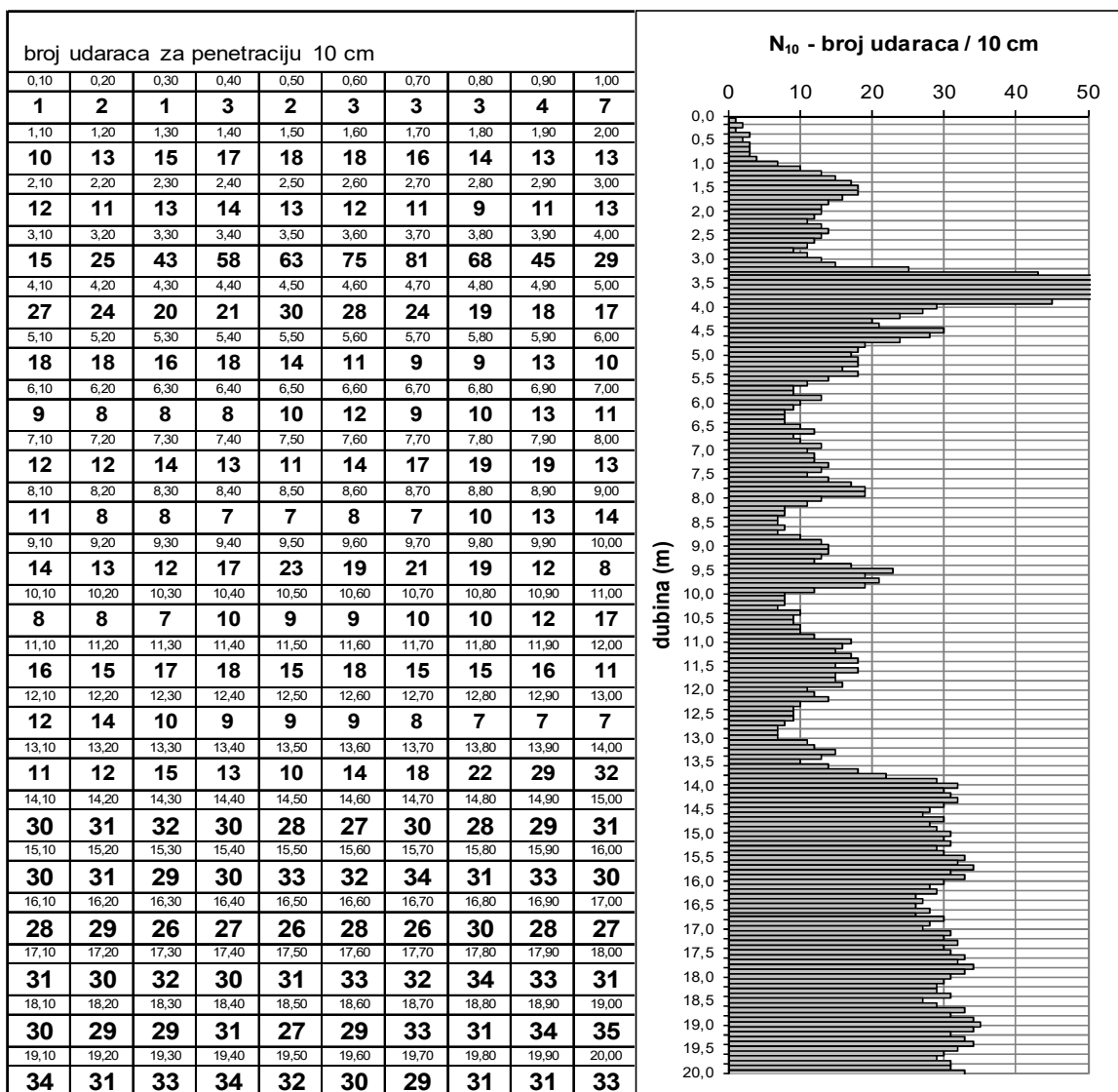
Visina pada: 50 cm

<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET</b>	
TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA	
Naziv priloga: <b>DPH-10</b>	Datum: <b>01.06.2017.</b>
Mjerilo: <b>-</b>	Broj priloga: <b>Prilog 3, List 10</b>
Kandidat: <b>Silvestar Dregarić</b>	Mentor: <b>Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec</b>



## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	DPH-11		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: <b>6 406 665</b>	y: <b>5 131 249</b>	z:



Masa utega: 50 kg

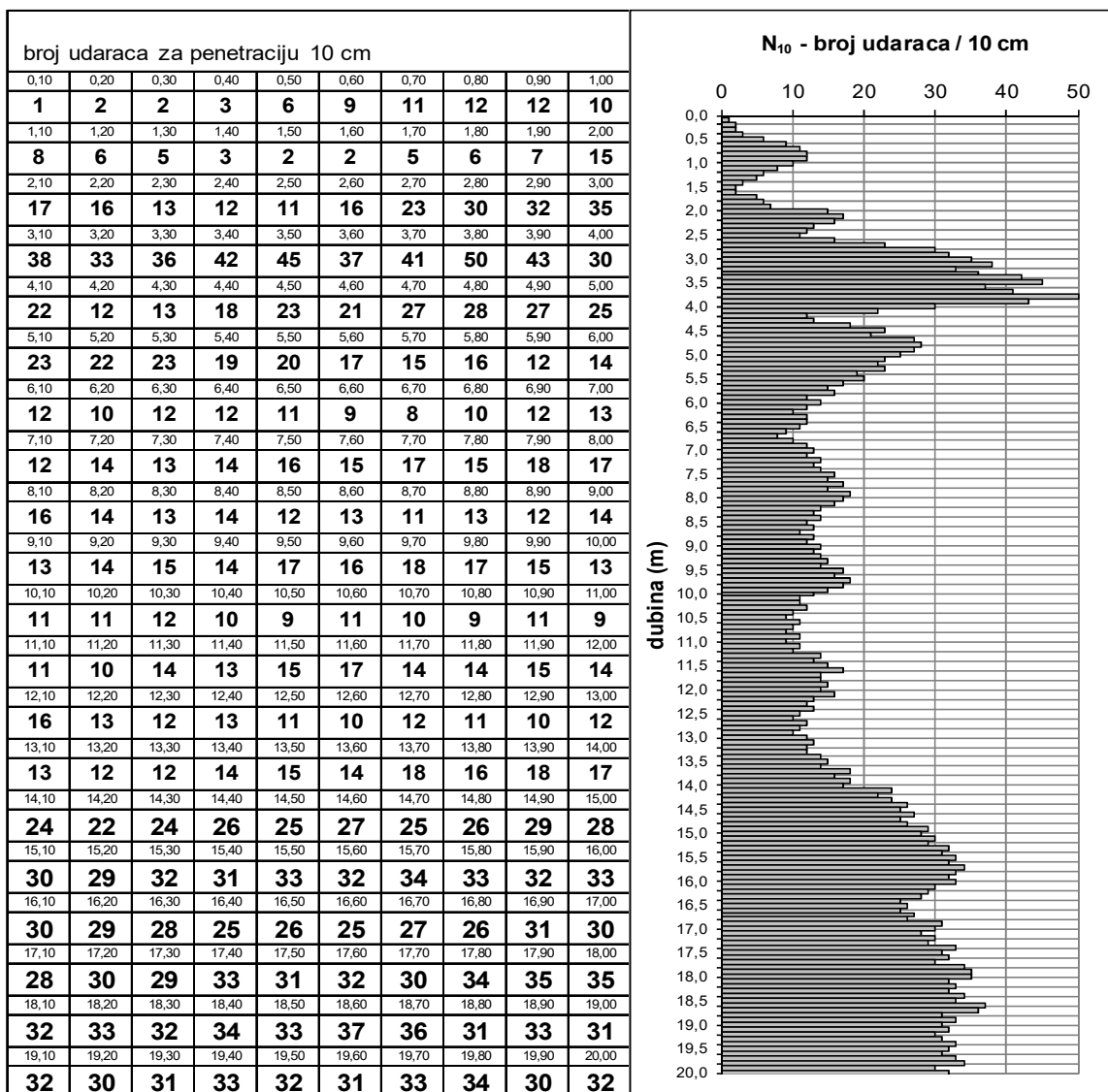
Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

<b>SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET</b>	
TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCIA	
Naziv priloga: <b>DPH-11</b>	Datum: <b>01.06.2017.</b>
Mjerilo: <b>-</b>	Broj priloga: <b>Prilog 3, List 11</b>
Kandidat: <b>Silvestar Dregarić</b>	Mentor: <b>Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec</b>

## DPH (TUS) - TEŠKA UDARNA SONDA (DIN 4094)

Oznaka:	DPH-12		
Građevina:	"BIOP DOVID"		
Mjesto:	Donji Vidovec		
Investitor:			
Koordinate:	x: 6 406 769	y: 5 131 408	z:



Masa utega: 50 kg

Površina šiljka: 15 cm<sup>2</sup>

Visina pada: 50 cm

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GEOTEHNIČKI FAKULTET	
TERENSKI ISTRAŽNI RADovi U SVRHU IZGRADNJE BIOPLINSKOG POSTROJENJA DONJEG VIDOVCA	
Naziv priloga:	Datum:
DPH-12	01.06.2017.
Mjerilo:	Broj priloga:
-	Prilog 3, List 12
Kandidat:	Mentor:
Silvestar Dregarić	Izv.prof.dr.sc. Stjepan Strelec