

Istraživački radovi u geotehnici

Trušnovec, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:269506>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Ivan Trušnovec

ISTRAŽNI RADOVI U GEOTEHNICI

Završni rad

Rijeka, 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI

GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Preddiplomski stručni studij

Građevinarstvo

Geotehničko inženjerstvo

Ivan Trušnovec

JMBAG: 0114026896

ISTRAŽNI RADOVI U GEOTEHNICI

Završni rad

Rijeka, 2022.

IZJAVA

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Ivan Trušnovec

U Rijeci, 01. rujan 2022.

ZAHVALA

Prije svega zahvaljujem se izv.prof.dr.sc. Sanji Dugonjić Jovančević na strpljenju, pruženim savjetima i mentorstvu. Tvrtki Geotech d.o.o. zahvaljujem se na ustupljenoj literaturi za potrebe izrade rada. Svim prijateljima zahvaljujem se na pruženoj moralnoj podršci.

Posebna zahvala mojoj obitelji: mami Tanji te sestrama Ani i Luciji. Ovaj rad posvećen je mom ocu Marku.

SAŽETAK

U ovom radu analizirane su metode istražnih radova koje se koriste u geotehnici. Kao primjer su u radu obrađeni izvedeni istražni radovi za potrebe rekonstrukcije željezničke pruge M104 Novska – Tovarnik na dionici Slavonski Brod – Sibinj. Na navedenoj željezničkoj pruzi izvedeni su slijedeći istražni radovi: ručni iskop sondažnih jama, istražno rotacijsko bušenje, ispitivanje dinamičkim penetrometrom, ispitivanje dinamičkom pločom te laboratorijska ispitivanja. Istražnim radovima utvrđeni su slojevi zastupljeni na predmetnoj lokaciji i njihove karakteristike.

KLJUČNE RIJEČI

Geotehnički istražni radovi, sondažne jame, istražno bušenje, željeznička pruga,

ABSTRACT

This thesis analyzes exploratory works used in geotechnics. Exploratory works done for the reconstruction of the railroad M104 Novska – Tovarnik on the section Slavonski Brod – Sijin were analyzed. These exploratory works were done on the railway: trial pits dug by hand, exploratory drilling, dynamic cone penetration tests, dynamic plate tests, laboratory tests. With these exploratory works we determined soil layers and their characteristics.

KEYWORDS

Geotechnical exploratory works, trial pits, exploratory drilling, railroad

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	Istražni radovi	2
1.2.	Geotehnički izvještaj/elaborat.....	5
1.3.	Sondažne jame	6
1.4.	Istražno bušenje	7
1.5.	Ispitivanje dinamičkim penetrometrom (DCP).....	8
1.6.	Ispitivanje dinamičkom probnom pločom	9
1.7.	Laboratorijska ispitivanja.....	9
2.	Geotehnički istražni radovi za potrebe rekonstrukcije željezničke pruge M104 Novska – Tovarnik, dionica Slavonski Brod – Sibinj.....	11
2.1.	Općenito o željezničkoj pruzi	11
2.2.	Ručni iskop sondažnih jama	13
2.3.	Istražno bušenje	16
2.4.	Ispitivanje standardnim prodiranjem (SPT).....	18
2.5.	Ispitivanje dinamičkim penetrometrom (DCP).....	18
2.6.	Ispitivanje dinamičkom pločom.....	20
2.7.	Laboratorijska ispitivanja.....	22
2.8.	Geološke značajke šireg područja.....	22
2.8.1.	List Nova Kapela	23
2.8.2.	Organogeno-barski sediment (ob)	23
2.8.3.	Les (l).....	23
2.8.2	List Slavonski Brod	24
2.8.4.	Močvarni prapor (lb)	24
2.8.5.	Barski sediment (b).....	25
2.9.	Hidrogeološke značajke lokacije	25
2.10.	Seizmičnost lokacije.....	27

2.11.	Inženjerskogeološke i geotehničke značajke lokacije.....	28
2.11.1.	Nabačaj (AF).....	28
2.11.2.	Močvarni prapor (lb), barski sediment (b), organogeno-barski sediment (b), les (l).....	29
2.11.3.	Geotehnička jedinica 1 – Šljunak (AF).....	30
2.11.4.	Geotehnička jedinica 2 – Glina (AF, lb, b, ob, l).....	31
2.11.5.	Geotehnička jedinica 3 – Tucanik (AF).....	32
2.11.6.	Geotehnička jedinica 4 – Tucanik/Tampon (AF)	33
2.11.7.	Geotehnička jedinica 5 – Glinoviti šljunak (AF).....	34
3.	Analiza provedenih istražnih radova	36
3.1.	Postojeće stanje.....	36
3.2.	Provedeni istražni radovi	37
4.	Zaključak.....	39

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Korelacija broja udaraca standardnog penetracijskog testa sa zbijenosti tla</i>	8
<i>Tablica 2. Izvedene sondažne jame (geotehnički elaborat EL 21-138-01, izradio: Geotech d.o.o., rujan 2021.)</i>	14
<i>Tablica 3. izvedene bušotine (geotehnički elaborat EL 21-138-01, izradio: Geotech d.o.o., rujan 2021.)</i>	16
<i>Tablica 4. Rezultati standardnog penetracijskog testa (geotehnički elaborat EL 21-138-01, izradio: Geotech d.o.o., rujan 2021.)</i>	18
<i>Tablica 5. Rezultati ispitivanja dinamičkim penetrometron DCP-09 na stacionaži 222+700 (geotehnički elaborat EL 21-138-01, izradio: Geotech d.o.o., rujan 2021.)</i>	19
<i>Tablica 6. Provedena laboratorijska ispitivanja (geotehnički elaborat EL 21-138-01, izradio: Geotech d.o.o., rujan 2021.)</i>	22
<i>Tablica 7. Razina podzemne vode u izvedenim bušotinama (geotehnički elaborat EL 21-138-01, izradio: Geotech d.o.o., rujan 2021.)</i>	26
<i>Tablica 8. Maksimalni inteziteti potresa MSC skale za povratne periode od 50 do 1.000 godina</i>	27
<i>Tablica 9. Podjela predmetne dionice na poddionice</i>	28
<i>Tablica 10. Geotehničke jedinice</i>	29

POPIS SLIKA

<i>Slika 1.</i>	<i>Primjenjivost terenskih istražnih radova prema EN 1997-2:2006</i>	<i>3</i>
<i>Slika 2.</i>	<i>Primjer izbušene jezgre stijenske mase pohranjene u sanduku</i>	<i>7</i>
<i>Slika 3.</i>	<i>Strojni iskop sondažne jame</i>	<i>6</i>
<i>Slika 4.</i>	<i>DPL (lijevo) i DCP (desno)</i>	<i>9</i>
<i>Slika 5.</i>	<i>Tijek izgradnje željezničke pruge Ljubljana – Zagreb – Beograd (Geografski glasnik)</i>	<i>11</i>
<i>Slika 6.</i>	<i>Satelitska snimka Slavanskog Broda s označenom pozicijom predmetne dionice željezničke pruge (Google maps)</i>	<i>12</i>
<i>Slika 7.</i>	<i>Geotehnički profil sondažnih jama SJ 09 i SJ 21 (geotehnički elaborat EL 21-138-01)</i>	<i>15</i>
<i>Slika 8.</i>	<i>Sondažna jama SJ-15 na stacionaži 224+100 (Geotech d.o.o)</i>	<i>15</i>
<i>Slika 9.</i>	<i>Bušaće jezgre bušotine B-1 (lijevo) i B-5 (desno) (Geotech d.o.o.)</i>	<i>17</i>
<i>Slika 10.</i>	<i>Geotehnički profil bušotina B-1 i B-4 (geotehnički elaborat EL 21-138-01)</i> ...	<i>17</i>
<i>Slika 11.</i>	<i>Prikaz kretanja DPI-a (lijevo) i CBR-a (desno) po dubini ispitivanja (geotehnički elaborat EL 21-138)</i>	<i>20</i>
<i>Slika 12.</i>	<i>Shematski prikaz dinamičke ploče “The Light Weight Deflectometer HMP LFG4”</i>	<i>21</i>
<i>Slika 13.</i>	<i>Ispitivanje sloja posteljice dinamičkom pločom u sklopu sondažne jame SJ-05 (Geotech d.o.o.)</i>	<i>21</i>
<i>Slika 14.</i>	<i>Isječak iz osnovne geološke karte, list Nova Kapela s označenom predmetnom lokacijom (Hrvatski geološki institut)</i>	<i>23</i>
<i>Slika 15.</i>	<i>Isječak iz osnovne geološke karte, list Slavonski Brod s označenom predmetnom lokacijom (Hrvatski geološki institut)</i>	<i>24</i>
<i>Slika 16.</i>	<i>Isječak iz Hidrološke karte, list Zagreb s označenom predmetnom lokacijom (Komatina, 1980.)</i>	<i>25</i>
<i>Slika 17.</i>	<i>Epicentri potresa iz hrvatskog kataloga potresa (Geofizički odsjek PMF-a, 2011.)</i>	<i>27</i>

<i>Slika 18. Naslage geotehničke jedinice 1 - Nabačaja u sklopu bušotine B-3 (Geotech d.o.o.).....</i>	<i>30</i>
<i>Slika 19. Naslage geotehničke jedinice 2 - Gline u sklopu bušotine B-5 (Geotech d.o.o.)</i>	<i>32</i>
<i>Slika 20. Naslage geotehničke jedinice 3 - Tucanika u sklopu sondažne jame SJ-34 (Geotech d.o.o).....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 21. Naslage geotehničke jedinice 4 - Tucanika/Tampona u sklopu sondažne jame SJ-10 (Geotech d.o.o.).....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 22. Naslage geotehničke jedinice 5 - Glinovitog šljunka u sklopu sondažne jame SJ-12 (Geotech d.o.o).....</i>	<i>35</i>

1. UVOD

Geotehnika kao grana građevinarstva bavi se analizom i projektiranjem konstrukcija u tlu i stijeni. Tlo je veoma kompleksno i "neheterogeno" te su čak i na susjednim parcelama moguće velike razlike u parametrima tla odnosno stijene.

Za potrebe izrade projektne dokumentacije važno je izraditi program istražnih radova kako bi se projektiranju pristupilo s preciznijim podacima. Postoje razne metode istražnih radova u geotehnici od najjednostavnijih kao što su iskopi sondažnih jama te do mnogo složenijih kao što su geofizička ispitivanja. Kako bi se dobile što bolje i preciznije karakteristike tla uz istražne radove se direktno izvode i laboratorijska ispitivanja za dobivanje ključnih parametara tla odnosno stijene.

Prije početka izvođenja istražnih radova istražuju se prethodno poznati podaci o lokaciji na kojoj se izvode radovi. Potrebno je pregledati osnovnu geološku kartu predmetnog područja kako bi se saznale geološke karakteristike pokrivača i podloge, potom proučiti potrebe buduće građevine (mogućnosti temeljenja, potencijalne podzemne etaže, potrebu zaštite pokosa građevinske jame i drugo). Potrebe za istražnim radovima mogu se osjetno razlikovati ovisno o litologiji na predmetnoj lokaciji. Zaštita građevinske jame u krškom ili u glinovitom podneblju veoma se razlikuje u kompleksnosti i cijeni izvedbe.

Rezultati istražnih radova su ključni za precizno predviđanje cijene izvođenja radova za svaki projekt. Preko 50 % prekoračenja budžeta posljedica su neadekvatno izvedenih istražnih radova. Neadekvatno izvedeni istražni radovi uzrokuju kašnjenja na trećini svih projekata (Gonzales, 2002). Investitori često zanemaruju važnost istražnih radova zbog početne cijene istih te su istražni radovi generalno nedovoljno financirani. Na posljetku zbog štednje u početku dolazi do višestruko većih troškova gradnje.

Ukratko, osnovni ciljevi istražnih radova su slijedeći:

- Utvrditi zadovoljavaju li geološki i geotehnički uvjeti terena predviđenom projektu
- Identificirati sve geološke hazarde i nestabilnosti prisutne na terenu
- Determinirati hidrogeološke i geotehničke karakteristike potrebne za projektiranje

U ovom radu daje se pregled vrsta istražnih radova u geotehničkom inženjerstvu. Također prikazan je detaljno primjer istražnih radova na lokaciji željezničke pruge M104 u

Slavonskom Brodu. Za potrebe rekonstrukcije željezničke pruge M104 provedena su detaljna ispitivanja i istraživanja koja su uključivala iskop sondažnih jama u trupu pruge, istražno bušenje s kontinuiranim jezgrovanjem, geofizička ispitivanja georadarom, ispitivanja dinamičkom pločom i konusnim penetrometrom, laboratorijska ispitivanja te naposljetku obrada i analiza pridobivenih podataka. Terenski istražni radovi pozicionirani su na problematičnim lokacijama na kojima su često potrebne intervencije tehničke službe HŽ Infrastrukture.

1.1. Istražni radovi

Eurokod 7 razlikuje 3 faze geotehničkih istražnih radova:

1) Prethodna istraživanja za postavljanje i projektiranje idejnog projekta

Prethodna istraživanja izvode se prije početka projektiranja kako bi se ustanovilo da li prije svega tlo zadovoljava osnovne uvjete potrebne za gradnju odnosno dali je gradnja na toj lokaciji uopće moguća.

2) Istraživanja za projekt

Geotehnička istraživanja za izradu glavnog projekta trebaju prikupiti potrebne podatke o tlu i podzemnoj vodi za konačno projektiranje građevine i za dokazivanje zadovoljenja bitnih zahtjeva za građevinu. Ova fazu planira se u skladu s rezultatima geotehničkih istraživanja i ispitivanja u prethodnim istraživanjima.

3) Kontrola i praćenje ponašanja

U fazi izvođenja radova potrebno je kontrolirati ponašanje tla uslijed nastalih poremećaja tijekom iskopa odnosno nanošenja opterećenja samom izgradnjom.

Metode terenskih istraživanja	Kategorije uzorkovanja						Terenski pokusi											Mjerenje podzemne vode	
	tlo			stijena			CPT / CPTU	Prestimometar	RDT	SDT	SPT	DPL/DPM	DPH/DPSH	WST	FVT	DMT	PLT	Otvoreni sustav	Zatvoreni sustav
	A	B	C	A	B	C													
Parametar tla																			
Osnovne informacije																			
Vrsta tla	C1 F1	C1 F1	C2 F2	-	-	-	C2 F2	C3 F3	-	C3 F3	C2 F1	C3 F3	C3 F3	-	-	C2 F2	-	-	-
Vrsta stijene	-	-	-	R1	R1	R2	R3	R3	R2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Raspored slojeva	C1 F1	C1 F1	C3 F3	R1	R1	R2	C1 F1	C3 F3	R3	R3	C3 F3	C2 F2	C1 F2	C1 F2	F2	-	C2 F1	-	-
Razina podzemne vode	-	-	-	-	-	-	C2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pritisak podzemne vode	-	-	-	-	-	-	C2 F2	F3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geotehnički parametar																			
Veličina zrna	C1 F1	C1 F1		R1	R1	R2	-	-	-	-	C2 F1	-	-	-	-	-	-	-	-
Vlažnost	C1 F1	C2 F1	-	-	-	-	-	-	-	-	C2 F2	-	-	-	-	-	-	-	-
Atterbergove granice	F1	F1	-	-	-	-	-	-	-	-	F2	-	-	-	-	-	-	-	-
Gustoća	C2 F1	C3 F3	-	R1	R1	-	C2 F2	-	-	-	C2 F2	C2	C2	-	-	C2 F2	-	-	-
Posmična čvrstoća	C2 F1	-	-	R1	-	-	C2 F1	C1 F1	-	-	C2 F3	C2 F3	C2 F3	C2 F1	C2 F1	C1 F1	R2	-	-
Krutost	C2 F1	-	-	R1	-	-	C1 F2	C1 F1	R1	F1	C2 F2	C2 F2	C2 F2	C2	-	C2 F1	C1 F1	-	-
Vodopropusnost	C2 F1	-	-	R1	-	-	C3F2	F3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kemijski pokusi	C1 F2	C1 F1	-	R1	R1	-	-	-	-	-	C2 F2	-	-	-	-	-	-	-	-

Legenda
CPT statička penetracija CPTU statička penetracija s mjerenjem pornog tlaka DMT plosnati dilatometar
DPL dinamička penetracija lagana DPM dinamička penetracija srednja DPH dinamička penetracija teška
DPSH dinamički penetracija superteška FVT terenska krična sonda PLT probna ploča (u bušotini)
RDT dilatometar za stijenu SDT dilatometar za tlo SPT standardni penetracijski pokus
WST statička penetracija s utegom
Otvoreni sustav: piezometar koji mjeri pritisak težinom stupca vode; Zatvoreni sustav: piezometar koji mjeri tlak vode neposredno (mali dotok vode)
Primjenjivost: C-kрупnozrno tlo; F-sitnozrno tlo; R-stijena; 1-jaka; 2-srednja; 3-slaba primjenjivost
Kategorije uzorkovanja za tlo (prema EN ISO 22475-1): A-tankostijeni uzorkivač; B-uzorak iz sržne cijevi ili SPT-a; C-uzorak iz bušenja ispiranjem

Slika 1. Primjenjivost terenskih istražnih radova prema EN 1997-2:2006

Eurokod 7 za određene geotehničke zahvate propisuje opseg i dubinu istražnih radova. Istražne radove možemo podijeliti na kabinetske, terenske i laboratorijske istražne radove. Kabinetski istražni radovi u inicijalnoj fazi projekta obuhvaćaju pregled dostupne literature, projekta na obližnjim lokacijama te pregled svih dostupnih karata koje uključuju sljedeće:

- Osnovna geološka karta Hrvatske M 1:50.000
- Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100.000
- Hrvatska osnovna karta M 1:5.000
- Topografske karte
- Hidrogeološke i inženjerskogeološke karte
- Seizmološke karte

U kasnijim fazama projekta kabinetski radovi obuhvaćaju obradu i analizu svih prikupljenih podataka terenskih i laboratorijskih istražnih radova.

Terenski istražni radovi određuju se na temelju veličine i složenosti projekta, morfologiji i geološkoj građi terena. Za potrebe izgradnje jednostavnijih objekata najčešće se primjenjuju jednostavnije metode istraživanja koje uključuju iskop sondažnih jama i ispitivanja dinamičkim prodiranjem (DPL i DCP). Sondažnim jamama dobivamo uvid u profil tla, dok dinamičkim prodiranjem utvrđujemo zbijenost, odnosno konzistenciju naslaga

nekoherentnih i koherentnih tala. Dinamički konusni penetrometar (DCP) najčešće se primjenjuje u cestogradnji zbog mogućnosti korelacije na CBR.

Istražni radovi za kompleksnije objekte zahtijevaju uporabu složenijih te ujedno i skupljih metoda ispitivanja. Istražno rotacijsko bušenje s kontinuiranim jezgrovanjem je naj primjenjivana metoda istraživanja koja imamo uvid u profil tla, pojavu i razinu podzemnih voda, utvrđivanje kaverni. Tijekom istražnog rotacijskog bušenja provodi se standardni penetracijski pokus, ispitivanja vodopropusnosti naslaga (LeFranc i Lugeon test), ispitivanja krilnom sondom i dilatometrima. Istražnim bušenjem pridobivamo poremećene i neporemećene uzorke tla/stijene koji su nam potrebni za provedbu laboratorijskih ispitivanja (Nonveiller, 1979.).

U kombinaciji s istražnim bušenjem i iskopom sondažnih jama često se primjenjuju i geofizička ispitivanja. Geofizička ispitivanja su neinvazivne metode mjerenja fizikalno-mehaničkih karakteristika tla i stijena. U geotehničkim istražnim radovima najčešće se primjenjuju metode plitke seizmičke refrakcije, multikanalna analiza površinskih valova (MASW), geoelektrična tomografija, georadar i karotažna mjerenja. Prilikom izrade programa istražnih radova potrebno je odabrati najbolje metode za problem koji se istražuje, jer svaka od metoda ima svoje prednosti i mane. Ukoliko je cilj istražnih radova odrediti liniju stijenske mase moguće je primijeniti plitku seizmičku refrakciju, MASW ili geoelektričnu tomografiju, no ukoliko je cilj otkriti kaverne u sklopu stijenske mase tada plitka seizmička refrakcija neće dati zadovoljavajuće rezultate, već je potrebno primijeniti MASW, geoelektričnu tomografiju ili georadar. Zbog višeznačnosti rezultata geofizičkih istraživanja najčešće se kombinira nekoliko metoda uz istražno bušenje ili iskop sondažnih jama. Također, kombinacijom rezultata plitke seizmičke refrakcije i MASW-a moguće je izračunati dinamički modul elastičnosti i posmika koji se korelacijama mogu svesti na statičke module (Gonzales, 2002).

Za provjeru zbijenosti naslaga tla koriste se dinamička i statička probna ploča kao i DCP. Provjera zbijenosti naslaga tla naročito je važna kod linijskih objekata kao što su ceste i pruge.

Laboratorijska ispitivanja su važan dio geotehničkih istražnih radova, jer nam daju parametre tla i stijena te potvrđuju i nadopunjavaju rezultate terenskih ispitivanja (npr. SPT-a i geofizičkih ispitivanja). Neki od važnijih parametara tla i stijena koje dobijemo laboratorijskim ispitivanjima su:

- Prirodna vlažnost
- Gustoća
- Granice tečenja i plastičnosti
- Granulometrijski sastav
- Unutarnji kut trenja i kohezija
- Edometarski modul
- Jednoosna tlačna čvrstoća

1.2. Geotehnički izvještaj/elaborat

Geotehnički izvještaj je dokument potpisan od strane ovlaštenog inženjera građevinarstva koji služi projektantima u kasnijim fazama projektiranja geotehničkih i ostalih konstrukcija, također služi i izvođaču kod same gradnje. Postoje razne vrste geotehničkih izvještaja. Od uobičajenih koji se fokusiraju na temeljenje građevine do specifičnih kao što su: izvještaj vodoupojnosti, izvještaj geološkog kartiranja pokosa prometnice.

Geotehnički izvještaj u svojoj osnovi sadrži skup i analizu svih izvedenih istražnih radova na lokaciji. U uvodu se nalazi osvrt na osnovne geološke i hidrogeološke značajke šireg područja. U elaboratu se također proračunava vjerojatnost seizmičkih pojava na predmetnoj lokaciji. Provedenim istražnim radovima dolazi se do inženjerskogeoloških i geotehničkih značajki tla na ispitanoj lokaciji. U zaključku elaborata napisane su preporuke za daljnje postupanje u skladu s dobivenim rezultatima. Na kraju se nalaze grafički prilozi: situacija izvedenih istražnih radova, geotehnički presjeci, inženjerskogeološka karta, geotehnički profili bušotina ili sondažnih jama, detalji. Ukoliko je potrebno uz osnovni izvještaj dodaju se i dodatni zasebni izvještaji pojedinih provedenih istražnih radova kao što su: laboratorijski izvještaj, izvještaj terenskih ispitivanja (DCP, DPL, dinamička probna ploča, sklerometar, geofizičko ispitivanje)

1.3.Sondažne jame

Sondažne jame su jedan od najjednostavnijih istražnih radova. Strojno ili ručno se na karakterističnim točkama određenim programom istražnih radova rade iskopi u tlu/stijeni.

Najčešće se iskopi vrše do dubine stijenske mase. Nakon iskopa jama se fotodokumentira i vrši se determinacija geotehničkog profila jame, po potrebi se iz jame uzimaju uzorci tla odnosno stijene za daljnja laboratorijska ispitivanja.

Sondažne jame također se mogu izvoditi uz već postojeće građevine. Postupak je kod ovakvih sondažnih jama isti kao kod gore navedenih osim što je pažljiviji zbog mogućih oštećenja postojećeg objekta. Svrha ovakvih iskopa je najčešće utvrđivanje vrste, stanja i dubine temeljenja postojeće zgrade za potrebe rekonstrukcije i proračuna dodatnih opterećenja ili ukoliko se nova građevina gradi u neposrednoj blizini postojeće u kojem slučaju je potrebno uzeti u obzir utjecaj na postojeće temelje.

Maksimalna dubina izvođenja sondažnih jama ovisi o raspoloživom stroju za izvođenje, ali u većini slučajeva ne prelazi 5 metara. Nakon 5 metara istražno bušenje postaje brži i isplativiji način determinacije geotehničkog profila.



Slika 2. Strojni iskop sondažne jame

1.4. Istražno bušenje

Rotacijsko bušenje s jezgrovanjem koristi se u tlu i stijeni, a podrazumijeva nanošenje okretnog momenta na bušaći pribor. Alat za bušenje je za stroj pričvršćen šupljom cijevi. Može biti puno svrdlo ili šuplje svrdlo za jezgrovanje. Alat se strojno rotira i utiskuje u bušotinu pomoću šupljih šipki. Kroz šuplje cijevi se utiskuje isplaka odnosno voda koja hladi pribor ugrijan od trenja stvorenog struganjem, isplaka istovremeno kroz bušotinu iznosi strugotine na površinu (Szavits-Nossan).

Bušotina se može zaštititi zaštitnom cijevi (kolonom) od urušavanja kada prolazi kroz rasipni material (pijesak, šljunak) ili od istiskivanja kada prolazi kroz slojeve meke gline. U sržnoj cijevi ostaje jezgra tla.

Izbušena jezgra se nakon vađenja pohranjuje u sanduke za jezgru (slika 3.) tako da dubinski ekvivalent jezgre od 1 metra bude u jednom odjeljku sanduka (Szavits-Nossan).



Slika 3. Primjer izbušene jezgre stijenske mase pohranjene u sanduku

Uz bušenje se u tlu u većini slučajeva izvodi i standardni penetracijski test.

SPT- standardni penetracijski test. Pobjanjem šipke u bušotini dobivaju se karakteristike tla. Bat standardne mase 63,5 kg pušta se slobodnim padom na nakovanj s visine od 76,2 cm (30 inča) i pobja šiljak ili nož u tlo. SPT se provodi u dvije faze.

U prvoj fazi broje se udarci za penetraciju od 0,15 m koja uključuje i inicijalnu penetraciju od vlastite težine. Ukoliko se ova penetracija ne može ostvariti za 50 udaraca, bilježi se dubina penetracije za 50 udaraca uz posebnu naznaku da je riječ o prvoj fazi pokusa te se bušenjem prilazi novom mjernom mjestu. Iz nabušene jezgre neposredno ispod SPT pokusa uzimaju se uzorci za laboratorijske analize, pokušava se identificirati uzorak neuspjele

penetracije i procjenjuje se mogućnost izvođenja pokusa na novom mjernom mjestu uz upotrebu iste opreme. Uz ove uvjete pokus se priznaje kao proveden.

U drugoj fazi broje se udarci za penetraciju cilindra od narednih 0,30 m uz bilježenje broja udaraca za svakih 0,15 m penetracije, čiji zbroj daje N – broj udaraca SPT-a. Ukoliko se penetracija od 0,30 m ne može postići za ukupno 50 udaraca, treba zabilježiti dubinu penetracije za 50 udaraca i postupiti kao u sličnom slučaju u prvoj fazi pokusa.

Potreban broj udaraca za pobijanje šipke ili noža u tlo daje nam direktne podatke o parametrima tla. U tablici 1. Prikazane su korelacije između broja udaraca i zbijenosti tla.

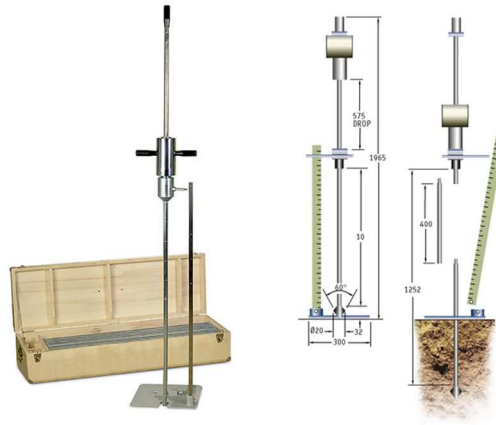
Tablica 1. Korelacija broja udaraca standardnog penetracijskog testa sa zbijenosti tla (Nonveiller, 1979.)

Broj udaraca N	Zbijenost nekoherentnog tla	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

1.5. Ispitivanje dinamičkim penetrometrom (DCP)

Koristi se za određivanje debljine slojeva tla, kontrolu i stupanj zbijenosti ili konzistencije tla te određivanje parametara čvrstoće i deformacije.

Postoji nekoliko vrsta dinamičkih penetrometara kao što su DCP-dynamic cone penetrometer i DPL-light dynamic penetrometer.



Slika 4. DPL (lijevo) i DCP (desno)

Uređaj se postavlja na željenu poziciju ispitivanja. Utegom standardne mase šipka sa šiljkom zabija se u tlo. Obzirom da je uređaj napravljen standardnih dimenzija izračunate su korelacije brzine zabijanja šipke u tlo i parametara tla. DCP ispitivanje najčešće se koristi kod gradnje prometnica (ceste i željezničke pruge) i pogodan je za dubine do 2,00 m. DPL uređaj za ispitivanje pogodniji je za veće dubine ispitivanja (10 – 12 m) i određivanja položaja dubine stijenske mase ispod razine tla (Nonveiller, 1979.).

1.6. Ispitivanje dinamičkom probnom pločom

Ispitivanje dinamičkom probnom pločom koristi se za određivanje stupnja zbijenosti nekog tla. Ovim ispitivanjem se u veoma kratkom roku dobivaju rezultati zbijenosti nekog materijala. Taj podatak često je potreban kako bi se uopće smjelo pristupiti daljnjem izvođenju određenih radova kao na primjer: izvođenje temelja, asflatiranje ceste, polaganje instalacija. Također se koristi kod istražnih radova na postojećim građevinama za određivanje zbijenosti određenih slojeva (Geotech d.o.o., Blog).

1.7. Laboratorijska ispitivanja

Terenska ispitivanja nisu dovoljna za precizno određivanje karakteristika tla te je paralelno s njima potrebno provesti i laboratorijska ispitivanja.

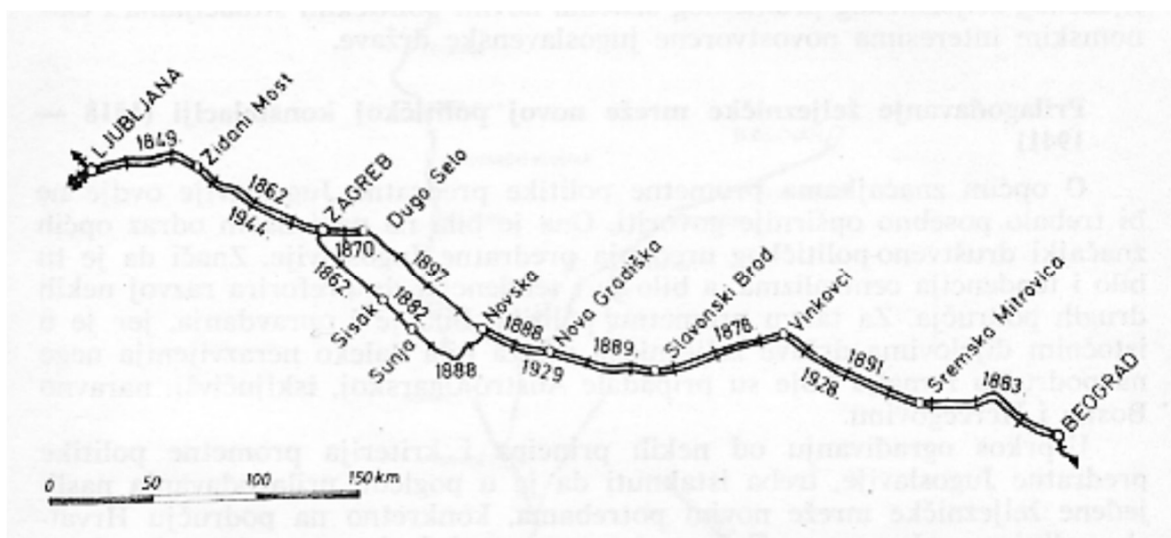
U laboratoriju se određuju karakteristike tla kao što su: vlažnost, specifična masa, granulometrijski sastav, poroznost, granice plastičnosti. Također se provode i ispitivanje izravnog smicanja tla i edometarski pokus tla.

Uz ispitivanje tla u geotehničkom laboratoriju provode se i ispitivanja na stijenskim uzorcima. Određuju se parametri kao što su: jednoosna tlačna čvrstoća stijena, vlačna čvrstoća stijene i indeks čvrstoće određen postupkom opterećenja u točki (Geotech d.o.o, Blog)

2. GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI ZA POTREBE REKONSTRUKCIJE ŽELJEZNIČKE PRUGE M104 NOVSKA – TOVARNIK, DIONICA SLAVONSKI BROD - SIBINJ

2.1. Općenito o željezničkoj pruzi

Slavonski Brod – Sibinj dionica je željezničke pruge građene u drugoj polovici 19. stoljeća koja je povezivala gradove Ljubljanu, Zagreb i Beograd. Promatrana dionica navedene željezničke pruge izgrađena je 1889. godine kao jednokolosiječna pruga dok je drugi kolosijek izgrađen 1929. godine (žuljić, 1978.). Navedena željeznička pruga je izgrađena dolinom rijeke Save te je zbog izrazito povoljnog ravničarskog terena iznimno dobrih karakteristika. Na pojedinim dionicama u pravcu su moguće brzine i do 200 km/h. Zbog premalih razmaka među signalima i predsignalima maksimalne projektne brzine su 160 km/h.

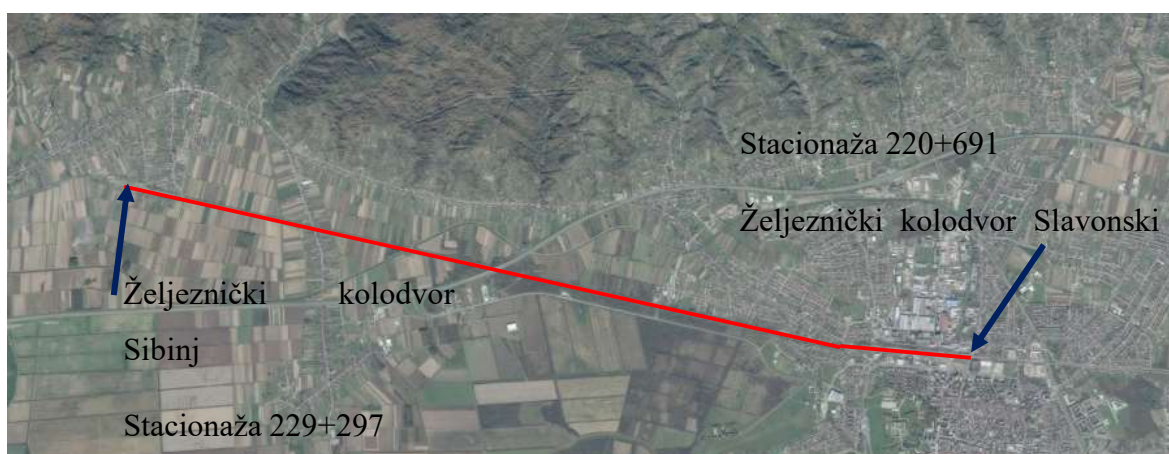


Slika 5. Tijek izgradnje željezničke pruge Ljubljana – Zagreb – Beograd (Geografski glasnik)

U doba Jugoslavije ova pruga povezivala je njena dva najveća grada te je slijedom toga bila i jedna od najprometnijih u tadašnjoj državi. Putovanje iz Zagreba do Beograda brzim vlakom nakon obnove pruge 1984. godine trajalo je između 4 i 5 sati. Danas isto putovanje zanemarimo li čekanje na granici traje i preko 7 sati.

Obzirom da navedena pruga nije obnavljana od davne 1984. godine njeno trenutno stanje je veoma loše. Na dionici Slavonski Brod – Sibirj dozvoljena brzina prometovanja smanjena je s prijašnjih 160 km/h na 60 km/h. Na nekim drugim dionicama brzina je smanjena i više na svega 40 km/h. Ovoj željezničkoj pruži kao magistralnom pravcu potrebna je temeljita obnova, prije samog projekta rekonstrukcije potrebno je provesti istražne radove kako bi se utvrdilo točno stanje gornjeg i donjeg ustroja.

Tvrtka Geotehnički Studio d.o.o. izradila je program geotehničkih istražnih radova za potrebe rekonstrukcije predmetne dionice željezničke pruge.



Slika 6. Satelitska snimka Slavenskog Broda s označenom pozicijom predmetne dionice željezničke pruge (Google maps)

Tvrtka Geotech d.o.o. iz Rijeke provela je geotehničke istražne radove na dionici Slavonski Brod – Sibirj i izradila geotehnički elaborat (EL 21-138). Navedena dionica duljine je 8.606 km, proteže se od stacionaže km 220+691 (željeznički kolodvor Slavonski Brod) do stacionaže km 229+297 (željeznički kolodvor Sibirj) (slika 6.). Početak dionice nalazi se u željezničkom kolodvoru Slavonski Brod dok je kraj u željezničkom kolodvoru Sibirj. Duž cijele dionice željeznička pruga je većinom u pravcu osim lagane krivine na izlazu iz Slavenskog Broda. Uzdužni nagib predmetne dionice je izuzetno blag. Najniža točka trase nalazi se ispod nadvožnjaka autoceste A3 Zagreb – Lipovac.

Programom istražnih radova predviđeno je da se za potrebe rekonstrukcije ove dionice izvedu slijedeći istražni radovi:

- Ručni iskop sondažnih jama
- Istražno bušenje
- Ispitivanje standardnim prodiranjem (SPT)
- Ispitivanje dinamičkim penetrometrom (DCP)
- Ispitivanje dinamičkom pločom
- Geofizička ispitivanja - georadar
- Laboratorijska ispitivanja

Istražni radovi izvedeni su u rujnu 2021. godine. Kako ne bi došlo do zastoja u prometovanju vlakova radovi su izvođeni naizmjenično na oba kolosijeka.

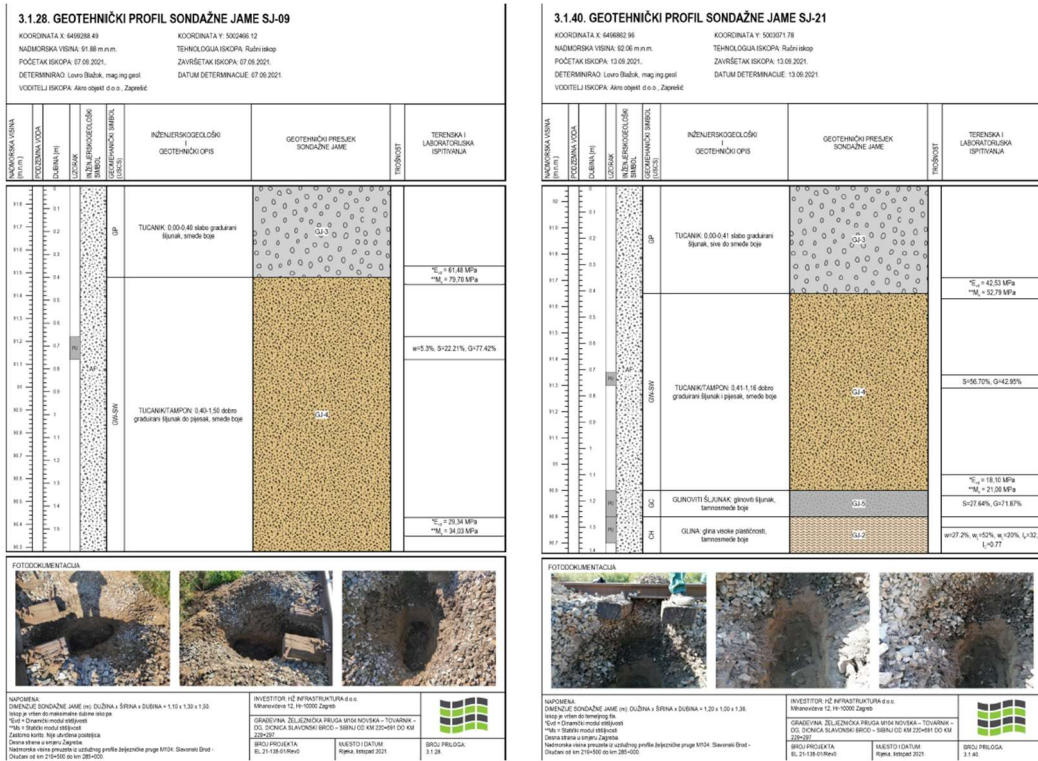
2.2. Ručni iskop sondažnih jama

Kako bi se omogućio uvid u stanje gornjeg ustroja željezničke pruge, iskopano je 36 sondažnih jama raspoređenih uzduž dionice naizmjenično na oba kolosijeka. Sondažne jame kopane su ručno do dubine temeljnog tla. Njihove dubine variraju od 0,66m do najviše 1,76m. Njihovim iskopom utvrdile su se debljine i karakteristike slojeva gornjeg ustroja pruge: tucanik, tamponski sloj i posteljica. Sondažne jame nalaze se na razmacima od 200 do 800 m, ovisno o pristupačnosti lokacije i procjeni voditelja istražnih radova. Sam iskop sondažne jame vršio se između dva željeznička praga uz vanjski rub tračnice.

Iskopom sondažnih jama utvrđeno je da debljina slojeva gornjeg ustroja pruge varira od jame do jame. Prethodnim redovnim održavanjem željezničke pruge na mjestima slijeganja dodavan je novi tucanik te se njegova debljina na određenim mjestima znatno povećala. Također tucanik je djelovanjem vibracija pomiješan s tamponskim slojem. Na poziciji sondažnih jama SJ-17 i SJ-19 je u trupu pruge između posteljice i temeljnog tla utvrđena pojava podzemne vode što ukazuje na to da je nasip uslijed slijeganja promijenio prethodno izvedeni poprečni nagib te se u trupu pruge nalazi takozvana kada koja štetno djeluje na gornji ustroj pruge.

Tablica 2. Izvedene sondažne jame (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

Oznaka sondažne jame	Stacionaža	Duljina (m)	Širina (m)	Dubina (m)
SJ-1	222+700	1,10	1,40	0,86
SJ-2	221+200	1,00	1,00	0,66
SJ-3	221+700	1,20	0,70	1,16
SJ-4	222+200	0,90	1,20	1,16
SJ-5	222+200	1,40	0,80	1,56
SJ-6	222+500	0,90	1,20	1,30
SJ-7	222+500	1,00	1,00	1,76
SJ-8	222+700	1,20	1,00	1,60
SJ-9	222+700	1,10	1,30	1,66
SJ-10	223+250	1,40	0,90	1,50
SJ-11	223+250	1,00	1,20	1,56
SJ-12	223+700	1,40	0,90	1,10
SJ-13	223+700	1,10	1,00	1,56
SJ-14	224+100	0,90	1,40	1,46
SJ-15	224+100	1,20	0,90	1,36
SJ-16	224+400	1,40	0,90	1,16
SJ-17	224+400	1,40	0,90	1,31
SJ-18	224+700	1,40	0,90	1,66
SJ-19	224+700	1,20	1,00	1,36
SJ-20	225+200	1,10	1,00	1,56
SJ-21	225+200	1,20	1,00	1,08
SJ-22	225+700	1,20	1,10	1,36
SJ-23	225+700	1,30	1,00	1,46
SJ-24	225+900	1,15	1,20	1,26
SJ-25	225+900	1,20	2,50	1,68
SJ-26	226+200	1,00	1,10	1,31
SJ-27	226+350	1,00	1,00	1,06
SJ-28	226+350	1,10	1,20	1,16
SJ-29	226+700	1,00	1,10	1,26
SJ-30	226+700	1,10	1,30	1,36
SJ-31	227+200	1,00	1,40	1,41
SJ-32	227+200	1,10	1,20	1,46
SJ-33	227+700	1,00	1,45	1,26
SJ-34	228+200	1,20	1,40	1,16
SJ-35	228+700	1,10	1,30	1,16
SJ-36	229+200	1,10	1,30	0,86



Slika 7. Geotehnički profil sondažnih jama SJ 09 i SJ 21 (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

U geotehničkom profilu sondažne jame prikazani su utvrđeni slojevi gornjeg ustroja željezničke pruge, provedena terenska i laboratorijska ispitivanja te fotodokumentacija izvedenih sondažnih jama.



Slika 8. Sondažna jama SJ-15 na stacionaži 224+100 (Geotech d.o.o)

2.3. Istražno bušenje

Programom istražnih radova predviđeno je izvođenje 8 bušotina dubine 6,0 m. Bušotine su izvedene na karakterističnim točkama u nožici nasipa željezničke pruge kako bi se utvrdile geotehničke značajke lokacije i temeljnog tla. Istraživačko bušenje je izvedeno prema smjernicama iz norme:

- HRN EN 1997-2:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnoga tla (EN 1997-2:2007+AC:2010)
- HRN EN ISO 22475-1:2008 Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Metode uzorkovanja i mjerenja podzemne vode - 1. dio: Tehnička načela izvedbe (ISO 22475-1:2006; EN ISO 22475-1:2006)

Uzorkovanje tla bušenjem te mjerenje podzemne vode moraju se provoditi tako opsežno da se dobiju nužni podaci za geotehnički proračun.

U tijeku bušenja vođen je terenski dnevnik o bušenju, koji općenito sadržava specifikacije o primijenjenoj tehnologiji bušenja, vremenskom intervalu bušenja, podatke o primijenjenim profilima i dubini bušotine, članovima bušaćeg tima te rezultate dobivene istraživačkim bušenjem (opise bušaće jezgre, pojave i razine podzemne vode, rezultate ispitivanja primijenjene tijekom bušenja).

Bušotine su izvedene u rujnu 2021. godine kontinuiranim jezgrovanjem po cijeloj dubini bušotina. Istražnim bušenjem na bušotinama utvrđena je pojava podzemne vode na dubinama od 1,50 m do 6,00 m. Izvedene istražne bušotine prikazane su u tablici 3.

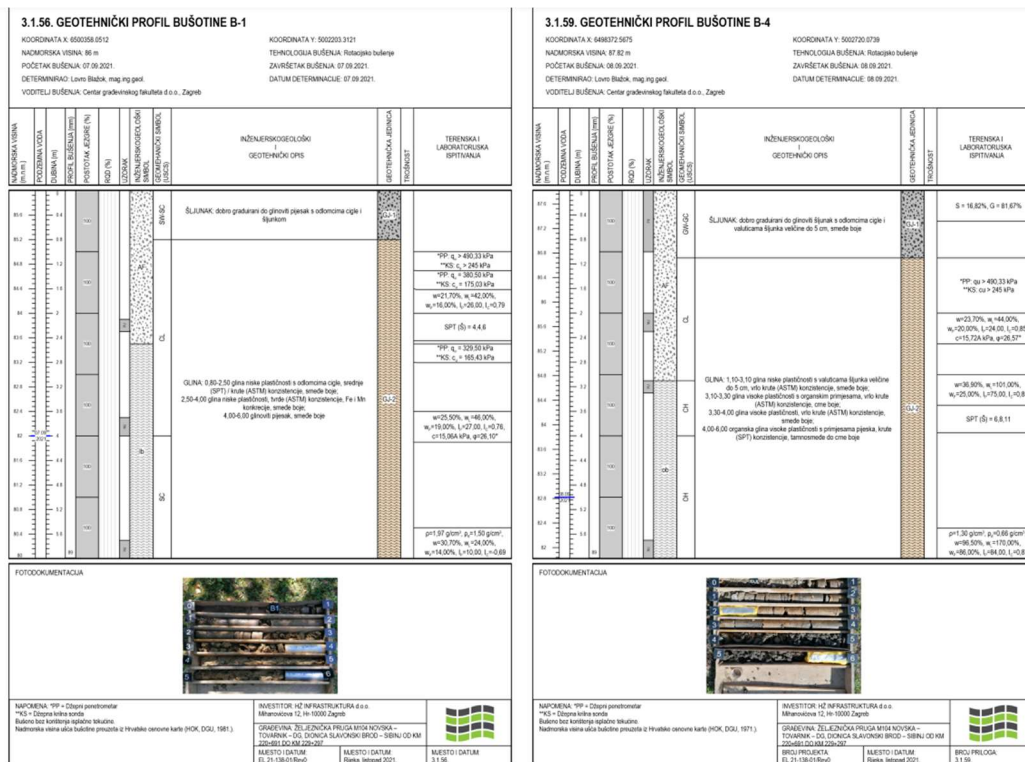
Tablica 3. Izvedene bušotine (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

Oznaka bušotine	Dubina bušotine	Vrh ušća (m n.m.)	X koordinata (HTRS)	Y koordinata (HTRS)
B-1	6,0	86,00	6500358,0512	5002203,3121
B-2	6,0	88,00	6500362,2319	5002235,1088
B-3	6,0	87,22	6499577,4064	5002384,7930
B-4	6,0	87,82	6498372,5675	5002720,0739
B-5	6,0	87,84	6497254,8372	5002990,1203
B-6	6,0	86,00	6495598,7557	5003374,9143
B-7	6,0	100,00	6494832,4158	5003608,2816
B-8	6,0	99,65	6494822,3645	5003567,8305



Slika 9. Bušaće jezgre bušotine B-1 (lijevo) i B-5 (desno) (Geotech d.o.o.)

U geotehničkom profilu bušotine (slika 10.) prikazani su utvrđeni slojevi tla, provedena terenska i laboratorijska ispitivanja te fotodokumentacija jezgre izvađene iz bušotine.



Slika 10. Geotehnički profil bušotina B-1 i B-4 (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

2.4. Ispitivanje standardnim prodiranjem (SPT)

Standardni penetracijski test izveden je na svim bušotinama ali na različitim dubinama kako bi se dobili što širi rezultati karakteristika temeljnog tla. Ispitivanje je provedeno šiljkom. Ispitivanje standardnim prodiranjem (SPT) izvedeno je prema slijedećim normama:

- HRN EN 1997-2:2012 Eurokod 7: Geotehničko projektiranje 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnoga tla (EN 1997-2:2007+AC:2010)
- HRN EN ISO 22476-3:2008/A1:2012 Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Terensko ispitivanje - 3. dio: Standardno penetracijsko ispitivanje (ISO 22476-3:2005/Amd 1:2011; EN ISO 22476-3:2005/A1:2011)

U tablici 4. prikazani su rezultati ispitivanja standardnim penetracijskim testom provedenih na predmetnoj dionici.

Tablica 4. Rezultati standardnog penetracijskog testa (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

Oznaka bušotine	Dubina ispitivanja (m)	Rezultati ispitivanja šiljkom	Zbijenost (D) / Konzistencija (C) (Terzagji & Peck, 1967)
B-1	2,0 - 2,45	4,4,6	Srednja – medium (C)
B-2	4,0 - 4,45	4,5,7	Kruta – stiff (C)
B-3	6,0 - 6,45	3,3,3	Meka/srednja – soft/medium (C)
B-4	3,5 – 3,95	6,8,11	Kruta – stiff (C)
B-5	2,0 – 2,45	5,7,10	Kruta – stiff (C)
B-6	6,0 – 6,45	7,10,13	Vrlo kruta – very stiff (C)
B-7	4,0 – 4,45	4,6,9	Kruta – stiff (C)
B-8	2,0 – 2,45	3,5,7	Srednja/kruta – medium/stiff (C)

2.5. Ispitivanje dinamičkim penetrometrom (DCP)

Programom istražnih radova predviđeno je ukupno 36 ispitivanja dinamičkim penetrometrom. Ispitivanja su provedena na udaljenosti cca 1,0 m od sondažnih jama do najveće izvedive dubine ispitivanja.

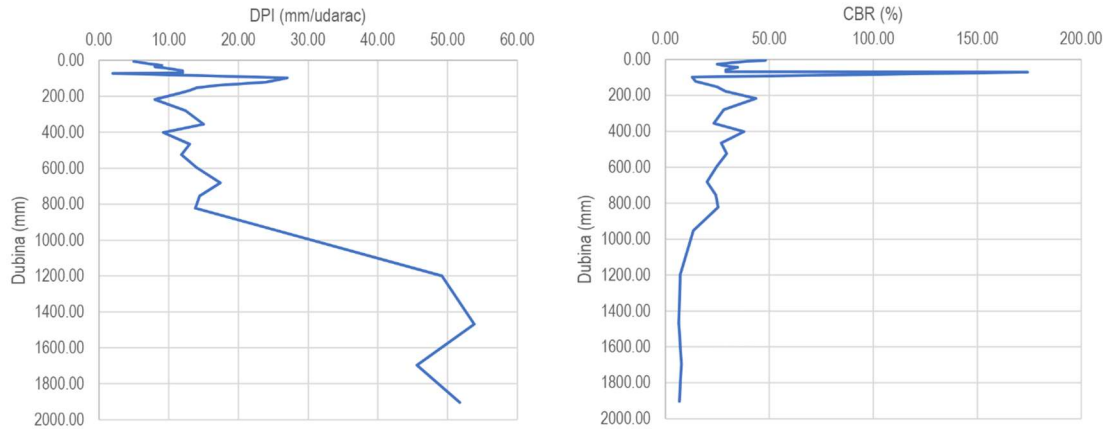
Za provođenje ispitivanja koristila se oprema proizvođača Controls S.r.l., model 16-T0012/D. Ispitivanje je provedeno po normi: ASTM D 6951/D 6951 M-09 *Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications.*

Iz dobivenih terenskih rezultata određuje se DCP indeks (DPI – dubina utiskivanja šiljka nakon jednog udarca). Vrijednosti DPI-a dalje se koreliraju na vrijednost kalifornijskog indeksa nosivosti (CBR) ili na ekvivalentni broj udarača SPT-a.

Tablica 5. Rezultati ispitivanja dinamičkim penetrometron DCP-09 na stacionaži 222+700 (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

Br. udaraca	Očitane dubine (mm)	DPI (mm/udarac)	Procijenjeni CBR (%)	Br. udaraca	Očitane dubine (mm)	DPI (mm/udarac)	Procijenjeni CBR (%)
0	0,00	0,00		20	218,00	8,00	43,54
1	5,00	5,00	48,14	25	280,00	12,40	28,09
2	11,00	6,00	39,25	30	355,00	15,00	23,22
3	18,00	7,00	33,03	35	401,00	9,20	37,86
4	27,00	9,00	24,92	40	466,00	13,00	26,79
5	35,00	8,00	28,44	45	525,00	11,80	29,52
6	45,00	10,00	34,83	50	595,00	14,00	24,88
7	57,00	12,00	29,03	55	682,00	17,40	20,02
8	69,00	12,00	29,03	60	754,00	14,40	24,19
9	71,00	2,00	174,16	65	823,00	13,80	25,24
10	98,00	27,00	12,90	70	953,00	26,00	13,40
11	122,00	24,00	14,51	75	1199,0	49,20	7,08
12	139,00	17,00	20,49	80	1468,0	53,80	6,47
13	153,00	14,00	24,88	85	1696,0	45,60	7,64
14	166,00	13,00	26,79	89	1903,0	51,75	6,73
15	178,00	12,00	29,03				

Na dubini od 71,00 mm ispitivanja pogođena je valutica većeg promjera koja je utjecala na rezultate ispitivanja. U dijagramu CBR (slika 11.) se jasno vidi odstupanje pri navedenoj dubini.



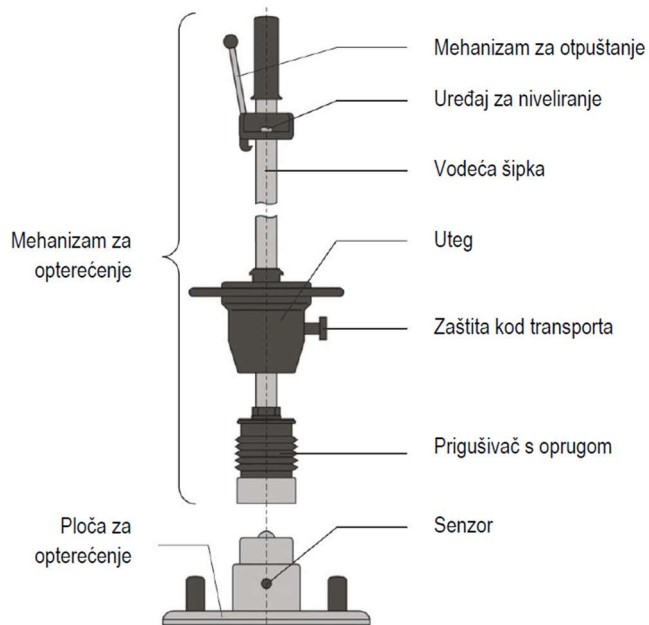
Slika 11. Prikaz kretanja DPI-a (lijevo) i CBR-a (desno) po dubini ispitivanja (geotehnički elaborat EL 21-138)

2.6. Ispitivanje dinamičkom pločom

Programom istražnih radova predviđeno je ukupno 72 ispitivanja dinamičkom pločom. Ispitivanja su provedena u sklopu ručnih iskopa sondažnih jama. U sklopu svake sondažne jame izvedena su dva ispitivanja. Jedno ispitivanje provedeno je na vrhu tamponskog sloja, dok je drugo provedeno na vrhu posteljice.

Ispitivanje laganom dinamičkom pločom (light weight deflectometer) koristi se za terensko ispitivanje dinamičkog modula stišljivosti podloge. Dobiveni rezultati pokazuju karakteristike nosivosti i stupanj zbijenosti tla iz čega je moguće odrediti metode poboljšanja istih. Ova metoda pogodna je za ispitivanja krupnozrnatih i mješovitih tla s maksimalnom veličinom zrna od 63 mm.

Oprema za ispitivanje dinamičkog modula stišljivosti sastoji se od deflektometra i instrumenta za mjerenje elastičnog slijeganja. Pri ovom ispitivanju korišten je deflektometar punog naziva “The light Weight Deflectometer HMP LFG4”, proizvođača HMP Magdeburger Prüfgerätebau GmbH. Shema uređaja korištenog za ispitivanje dinamičkog modula stišljivosti prikazana je na slici 12.



Slika 12. Shematski prikaz dinamičke ploče “The Light Weight Deflectometer HMP LFG4”

Dinamički modul stišljivosti geotehničke jedinice 4 kreće se od 22,75 MPa do 128,57 MPa, odnosno statički modul stišljivosti kreće se od 26,39 MPa do 174,94 MPa.



Slika 13. Ispitivanje sloja posteljice dinamičkom pločom u sklopu sondažne jame SJ-05 (Geotech d.o.o.)

2.7. Laboratorijska ispitivanja

Za potrebe laboratorijskih ispitivanja uzeti su uzorci iz sondažnih jama i bušotina.

Iz istraživačkih bušotina prikupljeno je ukupno 26 uzoraka tla na kojima su provedena ispitivanja Atterbergovih granica plastičnosti, prirodnog sadržaja vlage, granulometrijskog sastava, ispitivanja čvrstoće u direktnom posmiku te ispitivanja edometarskog modula stišljivosti.

Iz izvedenih sondažnih jama prikupljeno je ukupno 74 uzoraka, od čega: 35 uzoraka tamponskog sloja, 20 uzoraka posteljice i 19 uzoraka temeljnog tla nasipa. Na uzorcima iz sondažnih jama provedena su ispitivanja Atterbergovih granica plastičnosti, prirodnog sadržaja vlage, granulometrijski sastav, obujamska težina te CBR.

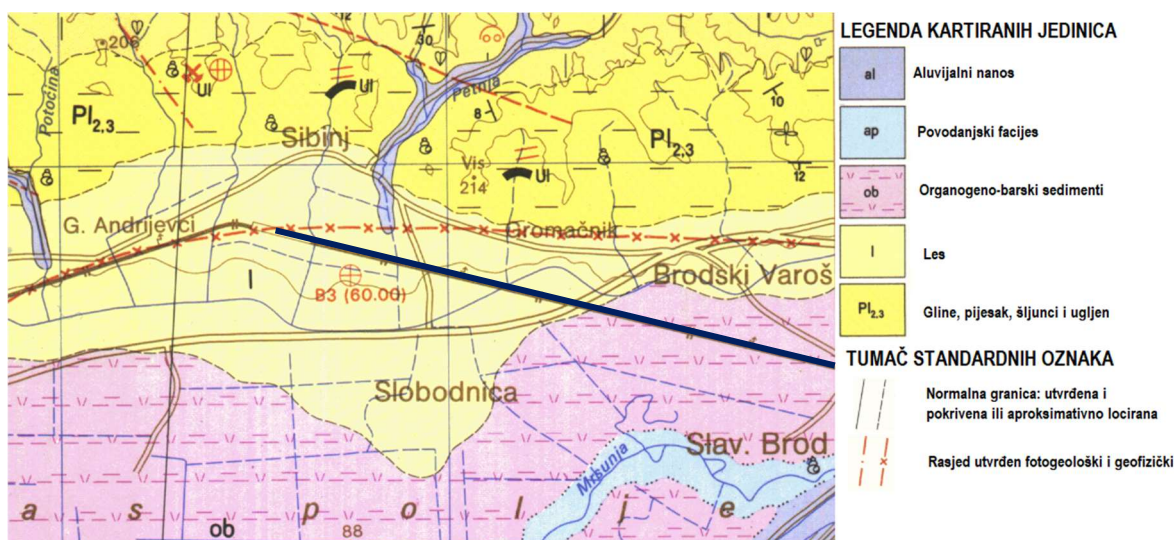
Tablica 6. Provedena laboratorijska ispitivanja (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

Ispitivanje	Broj ispitanih uzoraka
Vlažnost	55
Gustoća	7
Granulometrijski sastav	52
Atterbergove granice	47
Posmična čvrstoća	8
CBR	13
Edometarsko ispitivanje	16

2.8. Geološke značajke šireg područja

Dionica Slavonski Brod – Sibinj željezničke pruge M104 Zagreb – Tovarnik svojom duljinom pripada u dva lista osnovne geološke karte Republike Hrvatske, listu Nova Kapela i listu Slavonski Brod (osnovna geološka karta Republike hrvatske – Hrvatski geološki institut).

2.8.1. List Nova Kapela



Slika 14. Isječak iz osnovne geološke karte, list Nova Kapela s označenom predmetnom lokacijom (Hrvatski geološki institut)

Prema podacima iz Osnovne geološke karte (OGK) list Nova Kapela (Šparica i dr., 1972.), područje dijela predmetne dionice koji se nalazi na listu Nova Kapela geografski pripada dijelu tektonske jedinice Savske potoline.

2.8.2. Organogeno-barski sediment (ob)

Tokom pleistocena i holocena područje Savske nizine između Slavanskog Broda i Starog Petrovog sela bilo je postepeno spuštено što je uvjetovalo stvaranje bara velikih površina. Barska sedimentacija se mjestimično nastavila od gornjeg pliocena do danas. U barama je taložen sitnoklastični materijal i biljni ostaci. Prevladavaju tamnozelenе i tamnosive gline, glinoviti siltovi i sitnozrni pijesak. Povremeno se pojavljuju leće sitnog šljunka, koji ukazuje na pojačan donos materijala. Nakupljanjem veće količine biljnih ostataka nastali su proslojci treseta. U organogeno-barskim sedimentima nađen je veliki broj makrofosila (Šparica, 1972.).

2.8.3. Les (l)

Eolski sediment su tip sedimenta nastalih nakupljanjem čestica donesenih vjetrom, dok je slabo vezana sedimentna stijena eolskog porijekla les. U njegovom granulometrijskom sastavu prevladava silt 50-70%, dok postotak sitnog pijeska i gline varira od 10-30%. Na eolsko porijeklo lesa upućuje zaobljenost, kao i matiranost površine mineralnih zrna, te

odsustvo listićavih mineral – muskovita i klorita. Iz lesa, koji je bio nasipavan u bare, nastao je tzv. Barski les. U naslagama lesa nađena je brojna fosilna mikrofauna. Debljina lesa varira (Šparica, 1972.).

2.8.2 List Slavonski Brod



Slika 15. Isječak iz osnovne geološke karte, list Slavonski Brod s označenom predmetnom lokacijom (Hrvatski geološki institut)

Prema podacima iz Osnovne geološke karte (OGK) list Slavonski Brod (Šparica, 1986.), područje dijela predmetne dionice koji se nalazi na listu Slavonski Brod geografski pripada u tektonsku jedinicu Slavonsko-srijemska potolina te se nalazi u sklopu strukturne jedinice Slavonskobrodsko posavina.

2.8.4. Močvarni prapor (lb)

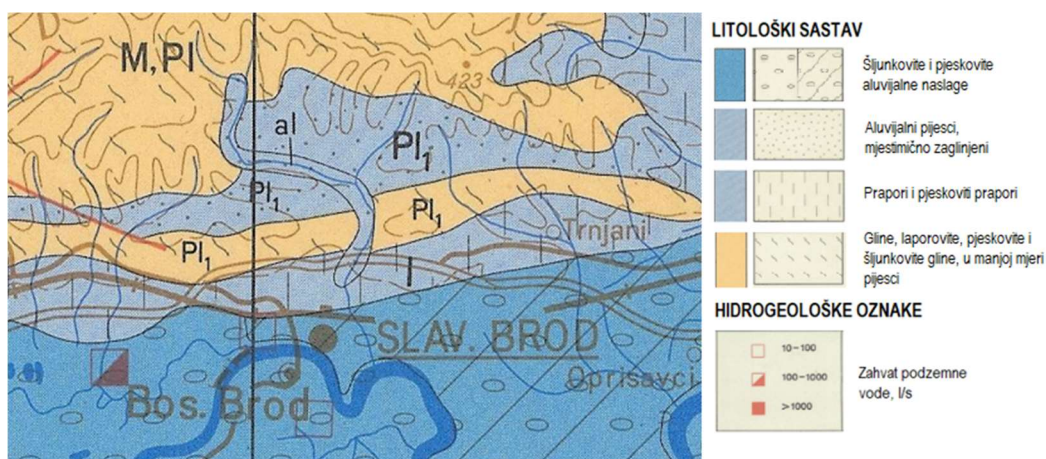
Naslage močvarnog prapora se sastoje od silta, zaglinjenog silta i glina, koje su mjestimično pjeskovite. Podređeno se nalazi sitnozrnati pijesak. Silt je sivozelenkaste boje. U teškoj frakciji dominiraju opaka zrna. Javlja se i klorit u malim količinama, dok biotit nedostaje ili ga ima u neznatnom postotku. Od prozirnih teških minerala najzastupljeniji je epidot (do 30%), rutil, turmalin i cirkon. Također je prisutan coisit i hornblenda. U lakoj mineralnoj frakciji dominantan je kvarc (do 60%) i feldspati. Dolaze čestice stijena i muskovit, dok karbonati nisu registrirani ili se nalaze u zanemarivim količinama. Pijesci su sive i smeđe boje, sitnozrnati. Mineraloški sastav im je identičan sastavu siltita. Debljina ovih naslaga određena je prema podacima s lista Nova Kapela i iznosi više od 60 m (Šparica, 1986.).

2.8.5. Barski sediment (b)

Njihovo stvaranje je vezano za izolirane močvarno-barske prostore, koji u području sjeverno od Save predstavljaju završetak jezersko-barske sedimentacije pleistocena i donjeg holocena, dok je njihov postanak u području južno od Save uvjetovan postepenim spuštanjem šamačke i brodske Posavine, a dijelom i zabarivanjem uslijed periodičnog dizanja nivoa podzemnih voda. Velika količina organskog materijala u njihovom sastavu daje i karakterističnu tamnosivu i crnu boju sedimentu. U barama je taložen sitnoklastični materijal i biljni ostaci. Prevladavaju tamnozeleno i tamno-sive gline, isključivo ilitskog sastava, a pojavljuju se i sitnozrnati pijesci. U području južno od Save pojavljuju se manje leće sitnozrnatog šljunka, koje ukazuju na pojačan donos materijala. Debljina ovih taložina ne prelazi 2 m, dok ukupna debljina holocenskih sedimenata u bosanskoj Posavini varira u rasponu od 30-50 m (Šparica, 1986.).

2.9. Hidrogeološke značajke lokacije

Hidrološki, uže predmetno područje pripada slivu rijeke Save. Brojni potoci dreniraju obronke užeg, reljefno slabo razvedenog područja. Dolina rijeke Save se na širem području proteže u generalnom smjeru sjeverozapad-jugoistok. Predmetna dionica prolazi kroz zaravnjene riječne doline s relativno gustom mrežom površinskih tokova te relativno plitkom stalnom razinom podzemne vode (Komatina, 1980.).



Slika 16. Isječak iz Hidrološke karte, list Zagreb s označenom predmetnom lokacijom (Komatina, 1980.)

Prema dostupnim podacima (Komatina, 1980.) šire promatrano područje je u hidrogeološkom smislu karakterizirano vodonosnicima intergranularne poroznosti izgrađenima od naslaga lesa. Ovi vodonosnici svrstani su u izrazito malo izdašne vodonosnike.

Hidrogeološke značajke zastupljenih geotehničkih jedinica (Nonveiller, 1979.):

POKRIVAČ-NABAČAJ (AF)

- (GP, GW) - propusno ($k > 10^{-3}$ m/s)
- (SW, SC, GC) - polupropusno (10^{-3} m/s $> k > 10^{-7}$ m/s)
- (CL, CH) - nepropusno ($k < 10^{-9}$ m/s)

PODLOGA-LES (l), ORGANOGENO-BARSKI SEDIMENTI (ob), BARSKI SEDIMENTI (b), MOČVARNI PRAPOR (lb)

- (CL-CH, ML) - nepropusno ($k < 10^{-9}$ m/s)
- (SC) - polupropusno (10^{-3} m/s $> k > 10^{-7}$ m/s)

Razina podzemne vode je u riječnim dolinama direktno vezana za razinu vode u obližnjim vodotocima. Na uzvišenim dijelovima terena razina podzemne vode ovisi o intezitetu oborina na širem području i brzini procjeđivanja kroz podlogu i nagibu terena.

U tablici 7. prikazane su utvrđene razine podzemne vode u istražnim bušotinama.

Tablica 7. Razina podzemne vode u izvedenim bušotinama (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

Bušotina	Dubina pojave podzemne vode
B-1	4,00 m
B-2	6,00 m
B-3	4,00 m
B-4	5,00 m
B-5	-
B-6	5,50 m
B-7	3,20 m
B-8	1,50 m

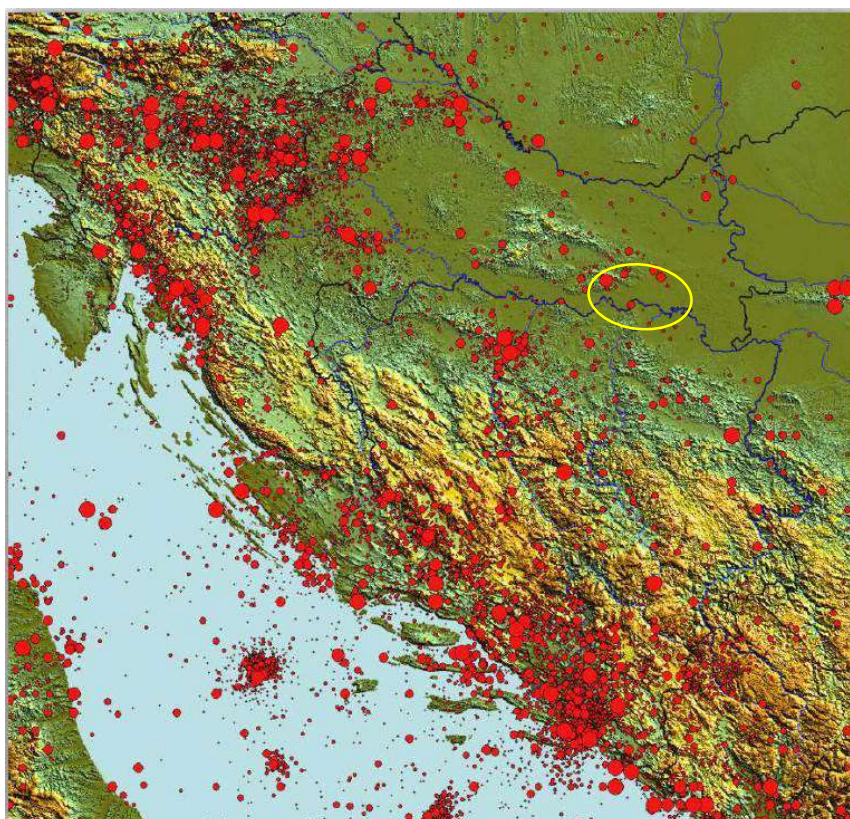
Provedenim istražnim bušenjem podzemna voda utvrđena je u svim istražnim bušotinama osim bušotini B-5. Razine podzemne vode kreću se od 1,50 m do 6,00 m.

2.10. Seizmičnost lokacije

Seizmološke karte mjerila 1:1.000.000 za procjenu maksimalnog intenziteta potresa po skali MSK-64 ili UNESCO ljestvice s 12 stupnjeva iz 1968. godine izrađene su za različita povratna razdoblja (50, 100, 200, 500, 1.000, 10.000 godina) i vjerojatnost pojave seizmičkog događaja od 63% (izradio Vlado Kuk, Geofizički zavod, PMF, Zagreb, 1987.) Uvidom u karte za povratne periode od 50 do 1.000 godina određeni su maksimalni intenziteti potresa prema MSC skali koji su prikazani u tablici 8., dok su na slici 17. prikazani epicentri u široj okolini predmetne lokacije.

Tablica 8. Maksimalni intenziteti potresa MSC skale za povratne periode od 50 do 1.000 godina

Povratni period (godine)	50	100	200	500	1.00
Maksimalni intezitet	6	7	8	8	8



Slika 17. Epicentri potresa iz hrvatskog kataloga potresa (Geofizički odsjek PMF-a, 2011.)

2.11. Inženjerskogeološke i geotehničke značajke lokacije

Predmetna dionica podijeljena je na 4 poddionice prikazane u tablici 9. Poddionice su određene na osnovi geološke podloge na kojoj se pojedina poddionica nalazi.

Tablica 9. Podjela predmetne dionice na poddionice (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

Broj poddionice	Podloga	Početa stacionaža	Završna stacionaža
Poddionica 1	Močvarni prapor (lb)	220+691,00	221+729,54
Poddionica 2	Barski sediment (b)	221+729,54	221+994,61
Poddionica 3	Organogeno – barski sediment (ob)	221+994,61	225+210,23
Poddionica 4	Les (l)	225+210,23	229+297,00

Naslage nabačaja u sklopu trupa željezničke pruge utvrđene su cijelom duljinom dionice.

2.11.1. Nabačaj (AF)

Sastav i značajke nabačaja dobiveni su provedenim istražnim radovima. Nabačaj je prisutan u vidu nekontinuiranog pokrivača iznad podloge u sklopu predmetne dionice željezničke pruge.

Nabačaj je predstavljen naslagama slabo građuiranog šljunka (tucanik), dobro građuiranog šljunka do pijeska (tampon), glinovitog šljunka (posteljica) i glina niske do visoke plastičnosti u sklopu trupa željezničke pruge, dok je u okolnom terenu nabačaj predstavljen naslagama dobro građuiranog do glinovitog šljunka.

Debljina naslaga nabačaja u trupu željezničke pruge iznosi od 0,66 m (sondažna jama SJ-02) do 1,76 m (sondažna jama SJ-6).

Debljina naslaga nabačaja okolnog terena iznosi od 0,50 m (bušotina B-8) do 1,50 m (bušotina B-3).

U geotehničkom smislu naslage nabačaja podijeljene su u slijedeće jedinice (Nonveiller, 1979.):

- ŠLJUNAK: dobro graduirani do glinoviti šljunak (GW-GC)
- GLINA: glina niske do visoke plastičnosti (CL-CH)
- TUCANIK: slabo graduirani šljunak (GP)
- TUCANIK/TAMPON: dobro graduirani šljunak do pijesak (GW-SW)
- GLINOVITI ŠLJUNAK: glinoviti šljunak (GC)

2.11.2. Močvarni prapor (lb), barski sediment (b), organogeno-barski sediment (b), les (l)

Sastav i značajke zastupljenih jedinica podloge močvarnog prapora, barskih sedimenata, organogeno-barskih sedimenata i lesa određene su provedenim istražnim radovima (istražne bušotine).

Naslage podloge predstavljene su glinom niske do visoke plastičnosti, lokalno i glinovitim pijeskom sa šljunkomte prahom niske plastičnosti. Lokalno u sklopu bušotine B/4 utvrđene su naslage organske gline visoke plastičnosti u intervalu 4,00 - 6,00 m. Temeljem dobivenih rezultata standardnim prodiranjem utvrđena je srednja do kruta konzistencija, dok je lokalno u sklopu bušotine B-3 utvrđena meka do srednja konzistencija, a u sklopu bušotine B-6 vrlo kruta konzistencija glinovitih naslaga podloge prema Terzaghi i Peck. (1967.)

U geotehničkom smislu naslage podloge predstavljaju naslage gline niske do visoke plastičnosti (CL-CH), srednje do krute konzistencije, lokalno s proslojcima glinovitog pijeska (SC).

Geotehničkim pregledom lokacije ustanovljeno je da se geotehnički profil sastoji od slijedećih geotehničkih jedinica:

Tablica 10. Geotehničke jedinice (geotehnički elaborat EL 21-138-01)

Geotehnička jedinica	Litostratigrafska oznaka	Opis
GJ-1	AF	Šljunak: dobro graduirani do glinoviti šljunak
GJ-2	AF, lb, b, ob, l	Glina: glina niske do visoke plastičnosti (CL-CH) srednje do krute konzistencije, lokalno s proslojcima glinovitog pijeska (SC)
GJ-3	AF	Tucanik: slabo graduirani šljunak (GP)
GJ-4		Tucanik/Tampon: dobro graduirani šljunak do pijesak (GW-SW)
GJ-5		Glinoviti šljunak :glinoviti šljunak (GC)

2.11.3. Geotehnička jedinica 1 – Šljunak (AF)

Geotehničku jedinicu 1 čine naslage šljunka utvrđene provedenim istražnim radovima. Naslage šljunka su zastupljene nekontinuirano u sklopu pristupnih cesta željezničke pruge.

U geomehaničkom smislu naslage geotehničke jedinice 1 predstavljaju naslage dobro graduiranog do glinovitog šljunka (GW-GC).

Debljina geotehničke jedinice 1 iznosi od 0,50 m do 1,50 m. Naslage geotehničke jedinice 1 nisu utvrđene na svim lokacijama provedenih istražnih radova.

Laboratorijskim ispitivanjima utvrđeni su slijedeći geotehnički parametri geotehničke jedinice 1:

- Granulometrijski sastav: S=16,52 %; G=81,67 %



Slika 18. Naslage geotehničke jedinice 1 - Nabačaja u sklopu bušotine B-3 (Geotech d.o.o.)

2.11.4. Geotehnička jedinica 2 – Glina (AF, lb, b, ob, l)

Geotehničku jedinicu 2 čine naslage gline utvrđene provedenim istražnim radovima.

U geomehaničkom smislu naslage geotehničke jedinice 2 predstavljaju naslage gline niske do visoke plastičnosti (CL-CH) srednje do krute konzistencije, lokalno s proslojcima glinovitog pijeska (SC).

Debljina naslaga geotehničke jedinice 2 utvrđena provedenim istražnim radovima (istražno bušenje i ručni iskop sondažnih jama) iznosi >0,20 m (u sklopu sondažnih jama) do >6,00 m (bušotine B-2, B-6, B-7).

Laboratorijskim ispitivanjima utvrđeni su slijedeći geotehnički parametri geotehničke jedinice 2:

- Gustoća	$\rho = 1,30-2,07 \text{ g/cm}^3$
- Gustoća suha	$\rho_d = 0,66-1,69 \text{ g/cm}^3$
- Vlažnost	$w = 13,3-95,5\%$
- Granica tečenja	$w_L = 21,00-51,00\%$
- Granica plastičnosti	$w_P = 24,00-170,00\%$
- Indeks plastičnosti	$I_P = 14,00-87,00$
- Indeks konzistencije	$I_c = -0,69-0,99$
- Kohezija	$c = 6,90-36,60 \text{ kPa}$
- Kut unutarnjeg trenja	$\phi = 7,41-34,61^\circ$
- Granulometrijska analiza	$C=4,42\%; M=17,78\%$ $S=16,82\%; G=81,67\%$
- Standardni Proctor pokus	$\text{max suha}=15,35-18,06 \text{ Kn/m}^3$ $w_{\text{opt}}=13,00-21,30\%$
- California bear ratio (CBR)	$\text{CBR}=5,8-14,4\%$

Svojstva naslaga geotehničke jedinice 2 ispitana su i na licu mjesta “in situ”, ispitivanjem standardnim prodiranjem, mjerenjem džepnim penetrometrom te džepnom krilnom sondom.



Slika 19. Naslage geotehničke jedinice 2 - Gline u sklopu bušotine B-5 (Geotech d.o.o.)

2.11.5. Geotehnička jedinica 3 – Tucanik (AF)

Geotehničku jedinicu 3 čine naslage tucanika utvrđene provedenim istražnim radovima (ručni iskop sondažnih jama). Naslage tucanika zastupljene su u sklopu nasipa željezničke pruge.

U geomehaničkom smislu naslage geotehničke jedinice 3 predstavljaju naslage slabo graduiranog šljunka (GP).

Debljina naslaga geotehničke jedinice 3 utvrđena provedenim istražnim radovima iznosi od 0,25 m do 0,36 m. U sklopu sondažnih jama: SJ-01, SJ-02 i SJ-36 nisu utvrđene naslage geotehničke jedinice 3 jer je iskop istih bio izmaknut od kolosijeka zbog sigurnosnih razloga.



Slika 20. Naslage geotehničke jedinice 3 - Tucanika u sklopu sondažne jame SJ-34 (Geotech d.o.o)

2.11.6. Geotehnička jedinica 4 – Tucanik/Tampon (AF)

Geotehničku jedinicu 4 čine naslage tucanika i tampona utvrđene provedenim istražnim radovima (ručni iskop sondažnih jama). Provedenim istražnim radovima utvrđena je zona miješanja tucanika i tampon te je “čisti” tampon i zona miješanja sa tucanikom spojena u jednu geotehničku jedinicu zbog sličnih geomehaničkih karakteristika.

U geomehničkom smislu naslage geotehničke jedinice 4 predstavljaju naslage dobro građiranog šljunka do pijeska (GW-SW).

Debljina naslaga geotehničke jedinice 4 utvrđena provedenim istražnim radovima iznosi od 0,20 m – 0,40 m.

U sklopu sondažnih jama provedeno je ispitivanje dinamičkog modula stišljivosti naslaga geotehničke jedinice 4 koji je kasnijom obradom koreliran na statički modul stišljivosti.

Dinamički modul stišljivosti geotehničke jedinice 4 kreće se od 22,75 MPa do 128,57 MPa, odnosno statički modul stišljivosti kreće se od 26,39 MPa do 174,94 MPa.

Laboratorijskim ispitivanjima utvrđeni su slijedeći geotehnički parametri geotehničke jedinice 4:

-Vlažnost $w=2,1-20,4\%$

-Granulometrijska analiza $S=21,17-74,83\%$; $G=24,90-78,68\%$



Slika 21. Naslage geotehničke jedinice 4 - Tucanika/Tampona u sklopu sondažne jame SJ-10 (Geotech d.o.o.)

2.11.7. Geotehnička jedinica 5 – Glinoviti šljunak (AF)

Geotehničku jedinicu 5 čine naslage glinovitog šljunka utvrđene provedenim istražnim radovima. Naslage glinovitog šljunka su utvrđene u sklopu posteljice nasipa željezničke pruge. U geomehaničkom smislu naslage geotehničke jedinice 5 predstavljaju naslage glinovitog šljunka (GC).

Debljina naslaga geotehničke jedinice 5 utvrđena provedenim istražnim radovima iznosi od 0,05 m do 0,47 m. U sklopu sondažnih jama SJ-02, SJ-09, SJ-15, SJ-24 i SJ-28 nisu utvrđene naslage geotehničke jedinice 5. U sklopu sondažnih jama provedeno je ispitivanje dinamičkog modula stišljivosti naslaga geotehničke jedinice 5 koji je kasnijom obradom koreliran na statički modul stišljivosti.

Dinamički modul stišljivosti geotehničke jedinice 5 kreće se od 8,89 MPa do 55,28 MPa, odnosno statički modul stišljivosti kreće se od 10,31 MPa do 70,90 MPa.

Laboratorijskim ispitivanjima utvrđeni su slijedeći geotehnički parametri geotehničke jedinice 5:

-Vlažnost $w=8,9\%$

-Granulometrijska analiza $S=21,17-74,83\%$; $G=24,90-78,68\%$



Slika 22. Naslage geotehničke jedinice 5 - Glinovitog šljunka u sklopu sondažne jame SJ-12 (Geotech d.o.o)

3. Analiza provedenih istražnih radova

Istražni radovi na željezničkoj pruzi u Slavonskom Brodu provedeni su u rujnu 2021. godine. Magistralnom prugom dnevno prođe dvadesetak teških teretnih vlakova. Njihovo opterećenje je kroz godine eksploatacije izrazito oštetilo prugu zbog čega je dozvoljena brzina na predmetnoj dionici drastično ograničena.

3.1. Postojeće stanje

Za potrebe održavanja željezničkih pruga koristi se poseban stroj “podbijačica”, koja strojno svojim prolazom po određenoj dionici dodaje novi i podbija tucanik kako bi se održala stabilnost i nosivost pragova. Dugogodišnjim podbijanjem i dodavanjem nove mase tucanika isti je pod silom pritiska stroja probio i pomiješao se sa slojem tampona te poremetio zbijenost i nosivost tamponskog sloja. Iskopom sondažnih jama utvrđeno je da se debljina tamponskog sloja na pojedinim lokacijama drastično smanjila. Sloj posteljice željezničke pruge se pod utjecajem vibracija proizvedenih od strane vlakova pomiješao sa glinom iz temeljnog tla nasipa.

Drveni željeznički pragovi ugrađeni u željezničku prugu su većinom iz 1984. godine te su pod utjecajem vremenskih prilika i opterećenja vlakova istrulili i potrebna je njihova zamjena novim betonskim pragovima.

Za vrijeme provođenja istražnih radova uočeno je da se tračnice i pragovi pomiču prolaskom vlakova što ukazuje na dotrajalost podloge tucanika i samih pragova.

Iskopom sondažnih jama na nekoliko lokacija utvrđena je prisutnost vode unutar trupa pruge. Gornji slojevi trupa pruge su veoma vodopropusni dok glineni nasip nije, nasip je izveden sa poprečnim nagibom prema van kako bi voda mogla otjecati. Uslijed godina eksploatacije došlo je do slijeganja u sredini nasipa te su na tim mjestima nastale “kade” u kojima se zadržava voda. Također, tijekom iskopa sondažnih jama nekolicina ih se urušavala zbog nedovoljne zbijenosti tucanika.

Uz provedene istražne radove proveden je i pregled svih propusta izgrađenih na ovoj pružnoj dionici. Nekolicina ih je u lošem stanju ili su zatrpani/začepljeni i potrebna je njihova

sanacija. Sustav odvodnje oborinskih voda uz željezničku prugu obrašten je niskim i visokim raslinjem i kao takav više ne služi svojoj svrsi.

3.2. Provedeni istražni radovi

Ukupno je izvedeno 36 ručno iskopanih sondažnih jama duž cijele dionice, na oba kolosijeka željezničke pruge. Obzirom da je kod iskopa bila potrebna stručnost i preciznost za iskop je angažirana tvrtka specijalizirana za pružne radove. Pozicije sondažnih jama određene su na temelju rezultata geofizičkih ispitivanja i naputaka Investitora o problematičnim dijelovima dionice. Analizom iskopanih sondažnih jama utvrđeno je da je potrebno kompletno zamijeniti gornji ustroj pruge. Slijeganje uslijed godina eksploatacije nije ujednačeno na svim lokacijama. Zbog točkastog karaktera podataka iz sondažnih jama provedena su i geofizička ispitivanja georadarom. Georadarska ispitivanja izvedena su na oba kolosijeka te su njima utvrđene dimenzije (duljina i dubina) zastornih uvala. Najveća zastorna uvala utvrđena je od stacionaže km 222+024,0 do km 223+336,5 u dužini od 1312,5 m s maksimalnom dubinom od 1,5 m te je ista potvrđena iskopom sondažnih jama. Zbog višeznačnosti rezultata geofizičkih ispitivanja ostale zastorne uvale potrebno je potvrditi iskopom dodatnih sondažnih jama.

Istražno bušenje izvođeno je uz nožicu nasipa pruge na 8 lokacija duž dionice. Lokacije istražnih bušotina određene su na način da budu podjednako raspoređene duž cijele dionice. Također je kod njihovog pozicioniranja obraćena pozornost na mogućnost pristupa stroja lokaciji bušenja. Bušenjem je utvrđeno da je temeljno tlo zadovoljavajuće kvalitete. Moguće su lokacije gdje bi bilo potrebno ojačati temeljno tlo ugradnjom šljunčanih stupnjaka ili sličnim metodama, ali uz samo 8 bušotina na 8 kilometara dugoj dionici to nije moguće sa sigurnošću utvrditi.

Obzirom da su ispitivanja dinamičkim penetrometrom provedena neposredno uz iskopane sondažne jame, ona nam ne daju precizniji uvid u stanje gornjeg ustroja između iskopanih sondažnih jama. Ispitivanje dinamičkim penetrometrom relativno je brz postupak i financijski povoljan te bi bilo dobro dodatno ispitati trup oba kolosijeka na gušćim razmacima kako bi se dobili puno precizniji podaci postojećeg stanja slojeva pruge.

Ispitivanjem zbijenosti tamponskog sloja i posteljice utvrđeno je da njihova zbijenost znatno varira od lokacije do lokacije. Te je slijedom toga potrebno kompletno ukloniti stare slojeve i ugraditi nove uz pravilno zbijanje svakog sloja.

4. Zaključak

Istražni radovi jedan su od ključnih koraka pri projektiranju neke građevine. Njihovom provedbom dobivamo podatke koji nam omogućuju siguran nastavak tijekom izgradnje. Zbog loše provedenih istražnih radova može kasnije doći do kasnijih problema i grešaka koje je često jako teško i skupo sanirati, u ekstremnim slučajevima čak i nemoguće.

Ljudi često zanemaruju značaj provedbe istražnih radova. Tek nakon pojave problema obraćaju se stručnjacima za pomoć.

Željeznička pruga M105 Novska – Tovarnik dugačka je 185,4 km. Prethodnih godina sanirana je i obnovljena kraća dionica od Novske do Okučana. Dionica Sibirj – Slavonski Brod dugačka je svega 8 kilometara te predstavlja manje od 5% ukupne duljine ove željezničke pruge.

Provedenim istražnim radovima utvrđeno je da je potrebna kompletna izmjena gornjeg ustroja ove željezničke pruge. Također, potrebna je izmjena svih dotrajalih drvenih pragova novim betonskim pragovima. Tračnice su na ovoj dionici u relativno dobrom stanju ali se radi sveukupnog saniranja preporuča i njihova izmjena novima.

Nakon uklanjanja postojećeg gornjeg ustroja potrebno je na pojedinim mikrolokacijama sanirati nasip željezničke pruge na mjestima gdje je on uslijed slijeganja znatno oštećen. Moguća je i ugradnja šljunčanih stupnjaka u temeljno tlo kroz postojeći nasip radi povećanja nosivosti temeljnog tla.

Obzirom da je ovim istražnim radovima obuhvaćeno manje od 5% ukupne duljine ove željezničke pruge potrebno je provesti istražne radove i na ostalim dionicama kako bi se ustanovilo postojeće stanje cijele pruge te temeljem dobivenih rezultata mogao izraditi projekt rekonstrukcije.

LITERATURA

Geotech d.o.o., *Geotehnički elaborat EL 21-138-01*, Rijeka, 2021.

Geotech d.o.o., *Istražni radovi – Blog*, <https://www.geotech.hr/blog/istrazni-radovi/>, pristup 23.04.2022.

Komatina, M., i dr., *Hidrogeološka karta SFR Jugoslavije, 1:500000, list Zagreb*, Geoinženjering Sarajevo - OOUR Institut za geotehniku i hidrogeologiju, Geološki zavod Zagreb - OOUR za inženjersku geologiju i hidrogeologiju, Geološki zavod Ljubljana - TOZD geologija, geomehanika in geofizika, izdanje Saveznog geološkog zavoda Beograd, 1980.

Luis I. Gonzalez de Vallejo, Mercedes Ferrer, *Geological engineering*, CRC Press, Leiden, 2002.

Nonveiller E., *Mehanika tla i temeljenje građevina*, Školska knjiga, Zagreb, 1979.

Szavits-Nossan V., *Geotehnički terenski istražni radovi*, https://www.grad.unizg.hr/download/repository/14_Predavanje_MT.pdf, pristup 05.05.2022.

Šparica, M., Juriša, M., Crnko, J., Šimunić, A., Jovanović, Č., Živanović, D., *Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije, 1:100000, Karta za list Nova Kapela L 33-108*, Institut za geološka istraživanja Zagreb i Institut za geologiju Sarajevo. 1972.

Šparica, M., Juriša, M., Crnko, J., Šimunić, A., Jovanović, Č., Živanović, D., *Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije, 1:100000, Tumač za list Nova Kapela L 33-108*, Institut za geološka istraživanja Zagreb i Institut za geologiju Sarajevo, 1972.

Šparica, M., Buzaljko, R., Mojićević, M., *Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije, 1:100000, Karta za list Slavonski Brod L 34-97*, Geološki zavod Zagreb i „Geoinženjering“ OOUR Institut za geologiju Sarajevo, 1986.

Šparica, M., Marinčić, S., Sikirica, V., Galović, I., Marković, S., Mamužić, P., Oštrić, N., Avanić, R., Laušević, M., *Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije, 1:100000, Tumač za list Slavonski Brod L 34-97*, Geološki zavod Zagreb i „Geoinženjering“ OOUR Institut za geologiju Sarajevo, 1986.

Žuljić Stanko, *Razvoj Sistema magistralnih željezničkih pruga na području SR Hrvatske*, Geografski glasnik, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, 1978.