



Geotehnično poročilo

Poročilo o preiskavah tal

Projekt:

Sanacija pobočja

Investitor:

Občina Piran

Avtorji dokumenta: Miha Peternel mag.inž. geoteh.

Revizija: 1

Pregledal: Matej Nagy d. i. geoteh in rud., P.I. RG 6143

Potrdil: MN

December 2025

Odgovorni vodja projekta:

Matej Nagy d. i. geoteh in rud., P.I. RG 6143

Geostrata d.o.o.
Bazoviška cesta 2,
6210 Sežana

geostrata@email.com

Kazalo

T.3	UVOD	3
T.4	GEOLOŠKA IN HIDROGEOLOŠKA SESTAVA TERENA.....	4
T.5	UPORABLJENA OPREMA, POSTOPKI MERITEV IN INTERPRETACIJ.....	4
T.5.1	VELJAVNI STANDARDI IN NORMATIVI	7
T.6	REZULTATI IN UGOTOVITVE	7

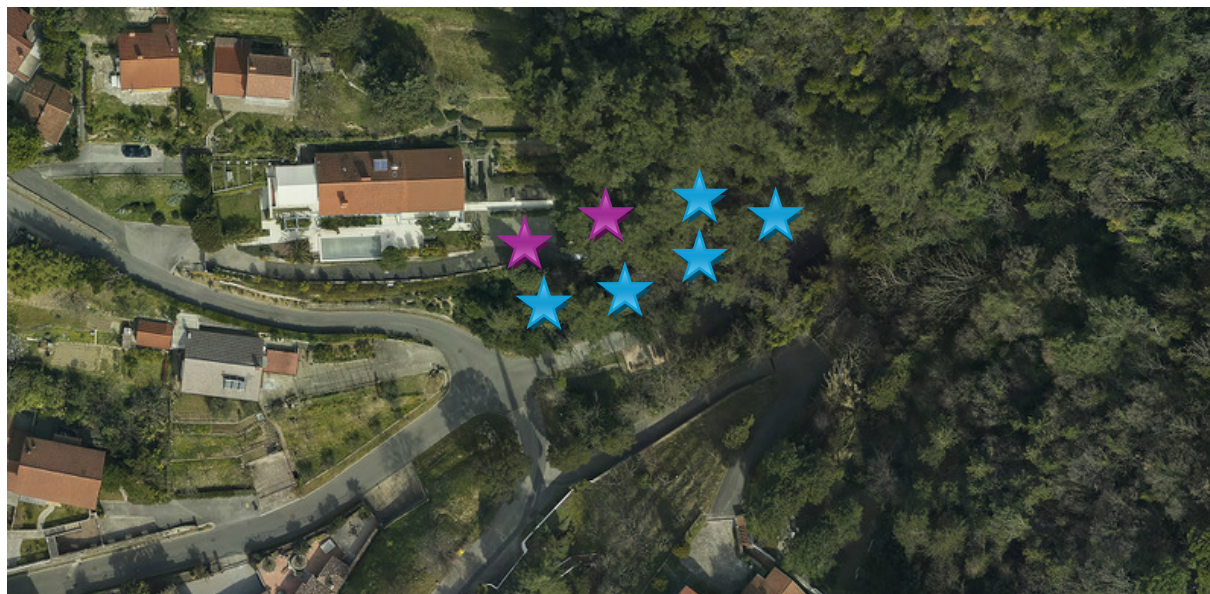
T.3 Uvod

Terenske geomehanske raziskave so bile izvedene z namenom ugotavljanja geotehničnih lastnosti temeljnih tal, določitve slojevitosti ter ocene trdnostnih in deformacijskih parametrov. Zaradi oteženega dostopa na lokaciji je bil uporabljen sklop mobilnih, ročnih preiskovalnih metod, ki omogočajo natančno profilacijo terena tudi na tesnih ali strmih mestih.

Raziskave so obsegale naslednje terenske preiskave:

- **Dinamični penetrometer (DPL):** Določanje dinamičnega odpora in slojevitosti tal.
- **DCPT (Dynamic Cone Penetrometer Test):** Lahki ročni penetrometer z 8 kg utežjo za natančno kontrolo plitvih plasti.
- **Ročni penetrometer za zemljine (žepni penetrometer):** Določanje neprekinjene tlačne trdnosti (q_u) na koherentnih vzorcih/izkopih.
- **Sklerometer (Schmidtovo kladivo / Rebound hammer):** Ocenjevanje enosne tlačne trdnosti intaktne hribine na izdanih plasteh fliša.

Pregled izvedenih raziskav:



	DPL
	DCPT

sonda	GK-Y	GK-X	GK-Z	izvedena globina [m]	lokacija
1				1.8	Letoviška pot 45
2				1.9	Letoviška pot 45

Preglednica 1: povzetek izvedenih del

T.4 Geološka in hidrogeološka sestava terena

Obravnavano območje širše lokacije Letoviške poti geološko pripada **flišnemu razvoju** (eocenski fliš). Za to formacijo je značilno ritmično menjavanje klastičnih sedimentnih kamnin, predvsem **laporjev, muljevcev in peščenjakov**.

Litološki profil na lokaciji sestavlja dve glavni geološki enoti:

1. **Kvartarna preperevanja in hribinski podor (Prekritje):** Površinski sloj sestavljajo eluvialno-deluvialni nanosi. Gre za kohezivna tla – gline in melje, ki so produkt intenzivnega površinskega preperevanja laporne podlage. Mehanske lastnosti teh tal so močno odvisne od vsebnosti vode.
2. **Flišna podlaga (Osnovna hribina):** Pod kvartarnim pokrovom prehaja teren v consko preperevajoč fliš. Z globino preperina (poltrdna do trdna glina z odlomki peščenjaka) prehaja v kompaktno hribinsko maso, kjer se izmenjujejo mehkejši laporji in kompaktnější, trši sloji peščenjaka.

Hidrogeološke razmere: Flišne kamnine delujejo kot relativno neprepustna podlaga. V površinski preperini se ob deževju lahko pojavi lokalna, občasna podzemna voda (prepustnejše peščene leče ali stiki med preperino in matično podlago), ki poslabšuje konsistenčno stanje glinastih plasti.

T.5 Uporabljena oprema, postopki meritev in interpretacij

Pri DPL sondiranju smo bat z maso 10 kg spuščali z višine 50 cm, pri tem pa beležili število udarcev potrebnih za 10 cm penetracije (število N_{10}).

Skladno s standardom SIST EN ISO 22476-2:2005 v odvisnosti od globine podajamo število udarcev, dinamični točkovni odpor q_d in točkovni odpor na enoto r_d .

Oceno materialnih lastnosti pa smo izvedli po nestandardiziranem postopku. Iz razmerja specifičnega dela, ki je potrebno za korak penetracije (30 cm pri SPT in 10 cm pri DPL), smo določili ekvivalentno število SPT udarcev N_{SPT} . Upoštevali smo še korekcijski faktor efektivne napetosti, dolžine drogova in ocenjen faktor izgub zaradi trenja drogova (C_{trenje}).

V strokovni literaturi sicer najdemo empirične korelacije med udarci DP in SPT, ki naj bi po ugotovitvah bile odvisne tudi od tipa preiskovane zemljine (Cestari, 2005). V našem primeru smo upoštevali $N_{SPT\ 10} = 1 \bullet N_{10}$ v nekoherentnih slojih ter $N_{SPT\ 10} = 3 \bullet N_{10}$ v koherentnih tleh (v tabeli navedeno pod 'druge korekcije' oz. $\bullet C_{drugo}$).



Slika 1: uporabljena oprema

Sestavo tal smo predpostavili s pomočjo preostalih poznanih podatkov iz bližnjih sondažnih vrtin, razkopov in osnovne geološke sestave posameznega območja.

Po tem postopku korigirane in in normalizirane vrednosti števila udarcev SPT pridobljene na podlagi preiskave DPL so v našem primeru:

$$(N_1)_{60} = N_{10} \bullet C_{trenje} \bullet C_{drugo} \bullet C_e \bullet \text{?} \bullet C_N, \text{ kjer je}$$

$(N_1)_{60}$ korigirana vrednost udarcev/30 cm pri SPT testu

N_{10} izmerjena vrednost udarcev/10 cm pri DPL testu

C_{trenje} koeficient odvisen od trenja drogova z zemljino (med 0.5 in 1)

C_{drugo} koeficient odvisen od vrste zemljine (3 in 1)

C_e koeficient prenosa energije (1)

? koeficient dolžine drogova

C_N korekcija zaradi efektivne napetosti

Normalizirane SPT vrednosti $(N_1)_{60}$ so nam služile za oceno nekaterih materialnih karakteristik preiskanih zemljin. Nekoherentnim zemljinam smo določili indeks gostote in strižni kot v skladu s preglednico 2:

gostota	zelo rahlo		rahlo	srednje gosto		gosto	zelo gosto
$(N_1)_{60}$	0	3	8	15	25	42	58
I_d (%)	0	15	35	50	65	85	100
?°		28	30	33	36	41	44

Preglednica 2: ocena gostotnega stanja iz $(N_1)_{60}$ (Skempton, 1986)

Za koherentne zemljine pa smo ocenili nedrenirano strižno trdnost s_u , kot je to določeno v preglednici 3, ob tem da velja $c_u = q_u/2$:

$(N_1)_{60}$	Konsistenčno stanje	q_u [kPa]	$(N_1)_{60}$	Konsistenčno stanje	q_u [kPa]
--------------	---------------------	-------------	--------------	---------------------	-------------

< 2	židko	< 25	8 – 15	težko gnetno	100 – 200
2 – 4	lahko gnetno	25 – 50	15 – 30	poltrdno	200 – 400
4 – 8	srednje gnetno	50 – 100	> 30	trdno	> 400

Preglednica 3: ocena konsistenčnega stanja iz $(N_1)_{60}$ (Terzaghi & Peck, 1946)

Podajamo tudi oceno edometerskega modula, kjer smo za nekoherentne materiale uporabili metodo, ki jo je podal Begemann, (1974):

$$E_{\text{oed}} = 4 + c \cdot ((N_1)_{60} - 6) \quad (\text{za } (N_1)_{60} > 15) \quad [\text{MPa}]$$

$$E_{\text{oed}} = c \cdot ((N_1)_{60} + 6) \quad (\text{za } (N_1)_{60} < 15) \quad [\text{MPa}]$$

($c = 0.3$ za drobne peske in peske z meljem, $c = 1.2$ za grušč s peskom)

Za koherentne zemljine pa smo edometerski modul ocenili po relaciji, ki sta jo podala Stroud in Butler, (1975):

$$M_v = 1/(450 \cdot N_{60}) \quad [\text{m}^2/\text{kN}] \quad \text{iz česar sledi} \quad E_{\text{oed}} = 1/m_v \quad [\text{kPa}].$$

a. Lahki ročni penetrometer 8 kg (DCPT)

DCPT naprava uporablja utor z maso 8 kg prosto padajočega določenega z višine 575 mm na stožec s premerom 20 mm (kot 60°). Metoda je izjemno občutljiva za plitve sloje (do globin cca. 1.0–2.0 m).

- **Postopek:** Meri se penetracija v milimetrih na udarec (mm/udarec) oz. **DCP indeks**.
- **Interpretacija:** DCP indeks se neposredno korelira s kalifornijskim indeksom nosilnosti (**CBR**) ter se uporablja za natančno določitev mikro-slojevitosti preperinskega pokrova in oceno modula stisljivosti plitvih plasti.

b. Ročni žepni penetrometer za zemljine

Uporabljen je bil na mestih neposrednih razkopov oziroma na delno odvzetih vzorcih koherentnega materiala.

- **Postopek:** Bat z vzmetjo s premerom 6.4 mm se potisne v zemljino do označene globine (6.4 mm).
- **Interpretacija:** Na umerjeni skali se neposredno odčita ocenjena neprekinjena tlačna trdnost q_u (v kPa ali kg/cm²). Iz tega sledi izračun nedrenirane strižne trdnosti:

$$s_u = 2q_u$$

S tem neodvisno verificiramo konsistenčno stanje, ocenjeno preko DPL meritev.

c. Schmidtovo kladivo (Rebound Hammer) za kamnine – fliš

Za karakterizacijo kompaktne podlage izmenjujočih se plasti laporja in peščenjaka je bilo uporabljeno Schmidtovo kladivo (tip L ali N z nižjo energijo udarca, primerno za mehkejša kamnine).

- **Postopek:** Na očiščenih in ravnih površinah flišnih plasti (izdanki ali dno razkopa) je bilo izvedenih serij po 10 udarcev na posameznem testnem mestu.
- **Interpretacija:** Zabeležen indeks odboja (R) se korigira glede na orientacijo kladiva (npr. navzdol, vodoravno). Preko umeritvenih diagramov, ki upoštevajo gostoto kamnine (ρ), se določi **enoosna tlačna trdnost (UCS)** intaktne skale fliša, kar omogoča

natančno oceno nosilnosti RQD (Rock Quality Designation) oziroma trdnosti same podlage.

d. Penetrometer z merilnim obročem (Load Ring Penetrometer)

Preiskava z ročnim penetrometrom z merilnim obročem (skladno z **ASTM D1558**) se uporablja za hitro oceno upora tal proti predrtju (penetracijski odpor) neposredno na terenu ali na izkopanih vzorcih finejših zemljin.

- **Postopek:** Naprava je opremljena z umerjenim elastičnim merilnim obročem (Load Ring) in mehanskim komparatorjem (uricam). Ko potiskamo zamenljivo konico (z znano površino) v tla, se obroč elastično deformira. Preiskovalec na komparatorju odčita silo, ki je potrebna za prodiranje konice v zemljino.
- **Interpretacija:** Izmerjena sila se deli s površino uporabljene konice, s čimer dobimo penetracijski odpor tal (p_i , izražen v kPa ali MPa). Ta podatek se uporablja za neposredno kontrolo stopnje zbitosti plasti, oceno nosilnosti posteljice in korelacijo s konsistentnim stanjem koherentnih tal (glina in melji) na lokaciji.

T.5.1 Veljavni standardi in normative

Vse terenske meritve, obdelava podatkov in interpretacija rezultatov so bili izvedeni v skladu s slovenskimi (SIST) in mednarodnimi (ISO/ASTM) standardi:

SIST EN 1997-2:2007 *Evrokod 7: Geotehnično projektiranje - 2. del: Preiskovanje in preskušanje tal*

SIST EN ISO 22476-2:2005 *Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Terensko preskušanje - 2. del: Dinamični penetracijski preskus*

SIST EN ISO 22476-3:2005 *Geotehnično preiskovanje in preskušanje - Terensko preskušanje - 3. del: Standardni penetracijski preskus (korelacije)*

ASTM D6951/D6951M-18 *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications* (Uporabljeno za 8 kg ročni dinamični penetrometer)

SIST EN 12504-2:2021 *Preskušanje betona v konstrukcijah - 2. del: Neporušitveno določanje indeksa odboja* (Uporabljeno v korelaciji z *ASTM D5873* za določanje trdnosti kamninske mase s Schmidtovim kladivom)

ASTM D1558-10 *Standard Test Method for Moisture Content Penetration Resistance Relationships of Fine-Grained Soils* (Uporabljeno za določanje upora proti penetraciji z merilnim obročem – Load Ring Penetrometer)

T.6 Rezultati in ugotovitve

Podrobni grafični prikazi DPL profilov, DCPT diagramov prodiranja ter točkovni rezultati žepnega penetrometra in Schmidtovega kladiva so podani v prilogah od 1 do 4.

Na podlagi celotnega niza izvedenih preiskav ugotavljamo naslednjo geotehnično strukturo:

Površinski sloj (0.0 m do cca. 0.6 m): Humusni sloj in preperela glina. Žepni penetrometer izkazuje mehkejšo do srednje gnetno konsistenco z vrednostmi q_u med 10 in 30 kPa. DCPT indeks potrjuje nizko začetno nosilnost ($CBR < 5\%$).

Vmesni koherentni sloj (cca. 0.6 m do 1.6 m): Peščeno meljna glina. Rezultati DPL in DCPT kažejo na postopen dvig odpora. Zemljine so v težko gnetnem stanju, lokalno prehajajo v poltrdno stanje. Ekvivalentne vrednosti $(N_1)_{60}$ se gibljejo med 8 in 15.

Hribinska podlaga – Fliš (pod globino 1.6 m do 1.8 m / 1.9 m): Dosežen je bil prehod v matično podlago (menjavanje laporja in peščenjaka). Tu je odpor tal drastično narasel (DPL dosegel refuzijo oz. priporočene mejne vrednosti).

Meritve s Schmidtovim kladivom na izdanih plasteh peščenjaka izkazuje indeks odboja, ki preračunan podaja enosno tlačno trdnost (UCS) v območju trdih kamnin, medtem ko so vmesni laporji znatno mehkejši in močnejše prepereli.

Zaključek glede nosilnosti: Dobro nosilna, stabilna temeljna tla se nahajajo na globinah pod 1.6 do 1.8 m, kjer se doseže kompaktna flišna podlaga. Pri projektiranju temeljenja je potrebno upoštevati prehodne cone in možnost hitrega preperevanja laporja ob stiku z vodo in zrakom med izkopom.