

Inženjerskogeološki opis i klasifikacija tla na lokaciji Srebrnjak (Zagreb)

Rihtarić, Robert

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:321977>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

**Inženjerskogeološki opis i klasifikacija tla na lokaciji Srebrnjak
(Zagreb)**

Završni rad

Robert Rihtarić

GI 2094

Zagreb, 2021.

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Inženjerskogeološki opis i klasifikacija tla na lokaciji
Srebrnjak (Zagreb)

Robert Rihtarić

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak rada

Inženjerskogeološki opis i postupak klasifikacije tla na lokaciji Srebrnjak provedeni su u svrhu interpretacije inženjerskogeološkog modela terena, čija je svrha pružiti ulazne informacije za izradu geotehničkog modela i sigurno projektiranje te temeljenje stambenih građevina planiranih na lokaciji. U okviru istraživanja, provedena su geodetska snimanja, inženjerskogeološko kartiranje terena, istraživačko bušenje šest bušotina te laboratorijsko ispitivanje fizičko-mehaničkih značajki materijala. Detaljno su opisane i objašnjene geografske i geomorfološke značajke istraživanog terena. Postupak klasifikacije i opisa inženjerskog tla na istraživanom terenu je proveden na temelju preporuka USBR-a 2001. (eng. United States Bureau of Reclamation) sukladnih s ASTM (eng. American Society for Testing and Materials) normama D2487 i D2488 (1996.) koje se odnose na geomehaničku klasifikaciju utemeljenu na USCS sustavu. Interpretacijom svih provedenih terenskih i laboratorijskih ispitivanja, te generalizacijom materijala dobivenog istraživačkim bušenjem; uspješno je izdvojeno i opisano četiri inženjerskogeoloških jedinica. Te jedinice su nam pružile značajan uvid u građu podzemlja i poslužile kao osnova za interpretaciju inženjerskogeološkog modela.

Ključne riječi: inženjerskogeološki opis i klasifikacija tla, istraživačko bušenje, inženjerska klasifikacija, inženjerskogeološke jedinice.

Završni rad sadrži: 29 stranica, 12 tablica, 15 slika, 9 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica RGN fakulteta, Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Mentori: 1. Doc. dr. sc. Martin Krkač

2. Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

Ocjenjivači: 1. Doc. dr. sc. Martin Krkač, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

2. Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

3. Prof. dr. sc. Željko Arbanas, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

Datum obrane: 21.09.2021. RGN fakultet Sveučilišta u Zagreb

Sadržaj poglavlja :

Popis tablica :	
Popis slika :	
1. Uvod	1
2. Geografske i geomorfološke značajke lokacije.....	2
2.1 Geografske značajke lokacije	2
2.2 Geomorfološke značajke lokacije.....	5
3. Inženjerska klasifikacija tla	7
3.1 Terenska klasifikacija tla	8
3.2 Geomehanički simboli (oznake) tla.....	10
3.2.1 Dvojni simboli.....	10
3.2.2 Granični simboli.....	10
3.2.3 Skraćeni simboli.....	10
4. Opis tla.....	11
4.1 Opis krupnozrnastog tla.....	11
4.2 Opis sitnozrnastog tla	12
4.3 „In situ“ uvjeti (opis mase tla).....	14
5. Rezultati istraživačkog bušenja	16
5.1 Inženjerskogeološke jedinice.....	17
5.2 Opis i klasifikacija tla inženjerskogeoloških jedinica	18
6. Zaključak	23
7. Reference.....	24

Popis tablica :

1. Tablica 4-1. : Opis uglatosti krupnozrnastih čestica.....	11
2. Tablica 4-2. : Opis oblika krupnozrnastih čestica.	11
3. Tablica 4-3. : Dilatancija sitnozrnastog tla.....	12
4. Tablica 4-4. : Suha čvrstoća sitnozrnastog tla	12
5. Tablica 4-5. : Opis žilavosti sitnozrnastog tla	13
6. Tablica 4-6. : Plastičnost sitnozrnastog tla	13
7. Tablica 4-7. : Opis konzistencije mase tla.....	14
8. Tablica 4-8. : Struktura mase tla.....	14
9. Tablica 4-9. : Cementacija intaktnih koherentnih tala.....	14
10. Tablica 4-10. : Vlažnost mase tla	15
11. Tablica 4-11. : Reakcija s HCl-om	15
12. Tablica 5-1. : Izdvojene inženjerskogeološke jedinice.....	17

Popis slika :

1. Slika 2-1. Lokacija istraživanog područja Srebrnjak (grad Zagreb) na isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5 000.....2
2. Slika 2-2. Vrh padine3
3. Slika 2-3. Gornja razina padine.....3
4. Slika 2-4. Niži dijelovi padine.....4
5. Slika 2-5. Skica rasporeda bušotina napravljena na temelju Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5 000 m.....4
6. Slika 2-6. Isječak iz Osnovne geološke karte (OGK) originalnog mjerila 1:100 000 dobiven spajanjem lista Zagreb (L 33-80 {lijevo}) te lista Ivanić-Grad (L 33-81 {desno}).....5
7. Slika 3-1. Podjela tla prema veličini i povezanosti čestica8
8. Slika 3-2. Dijagram toka za klasifikaciju krupnozrnastih tala (USBR-5005).....9
9. Slika 3-3. Dijagram toka za klasifikaciju sitnozrnastih tala (USBR-5005).....9
10. Slika 5-1. Stroj za bušotine Casagrande C6.....16
11. Slika 5-2. Stroj za bušotine Geotech 604.....16
12. Slika 5-3. Nasip bušotine B3 intervala od 0 m do 2,30 m dubine.....18
13. Slika 5-4. Glina visoke plastičnosti (CH) u intervalu od 14,5 m do 19,5 m dubine bušotine B2.....19
14. Slika 5-5. Glina niske plastičnosti (CL) u intervalu od 8 m do 9,7 m dubine bušotine B4.....20
15. Slika 5-6. Izmjena krupno / sitnozrnastog tla u intervalu od 0,8 m do 20 m dubine bušotine B5. {(GM)_s=3,6-5,2m; (MH)=12,1-13,3m; (SM)=13,3-16,5m; (ML)=17,3-18m }.....22

1. Uvod

Tema završnog rada je prikaz postupka inženjerskogeološkog opisa i klasifikacije tla dobivenog na temelju istraživačkog bušenja na lokaciji Srebrnjak, u gradu Zagrebu. Istraživanja su provedena u svrhu interpretacije inženjerskogeološkog modela terena, čija je svrha pružiti ulazne informacije za izradu geotehničkog modela i sigurno projektiranje temeljenje stambenih građevina planiranih na lokaciji. Cilj je sve podatke i zaključke dobivene postupkom inženjerskogeološkog opisa i klasifikacije tla pretvoriti u smišljeni koncept istraživanog područja, koji može poslužiti kao osnova za buduća istraživanja. Projekt je započeo sredinom travnja, a priveden je kraju sredinom lipnja 2021.

U okviru istraživanja, provedena su i geodetska snimanja, inženjerskogeološko kartiranje terena, istraživačko bušenje šest bušotina te laboratorijsko ispitivanje fizičko-mehaničkih značajki materijala. Inženjerskogeološki opis i klasifikacija tla provedena je na ukupno 118,5 m izvađene jezgre iz bušotina. Dubine bušotina su slijedeće; B1 (26,20 m), B2 (21 m), B3 (20 m), B4 (14,30 m), B5 (30,70 m) B6 (6,30m). Tijekom determinacije jezgre i bušenja uzeti su i uzorci za geomehanička laboratorijska ispitivanja. Uzorci za laboratorij uzimaju se na vrlo malom dijelu jezgre. Također, obavljaju se „in situ“ ispitivanja kao što je SPP (standardni penetracijski pokus).

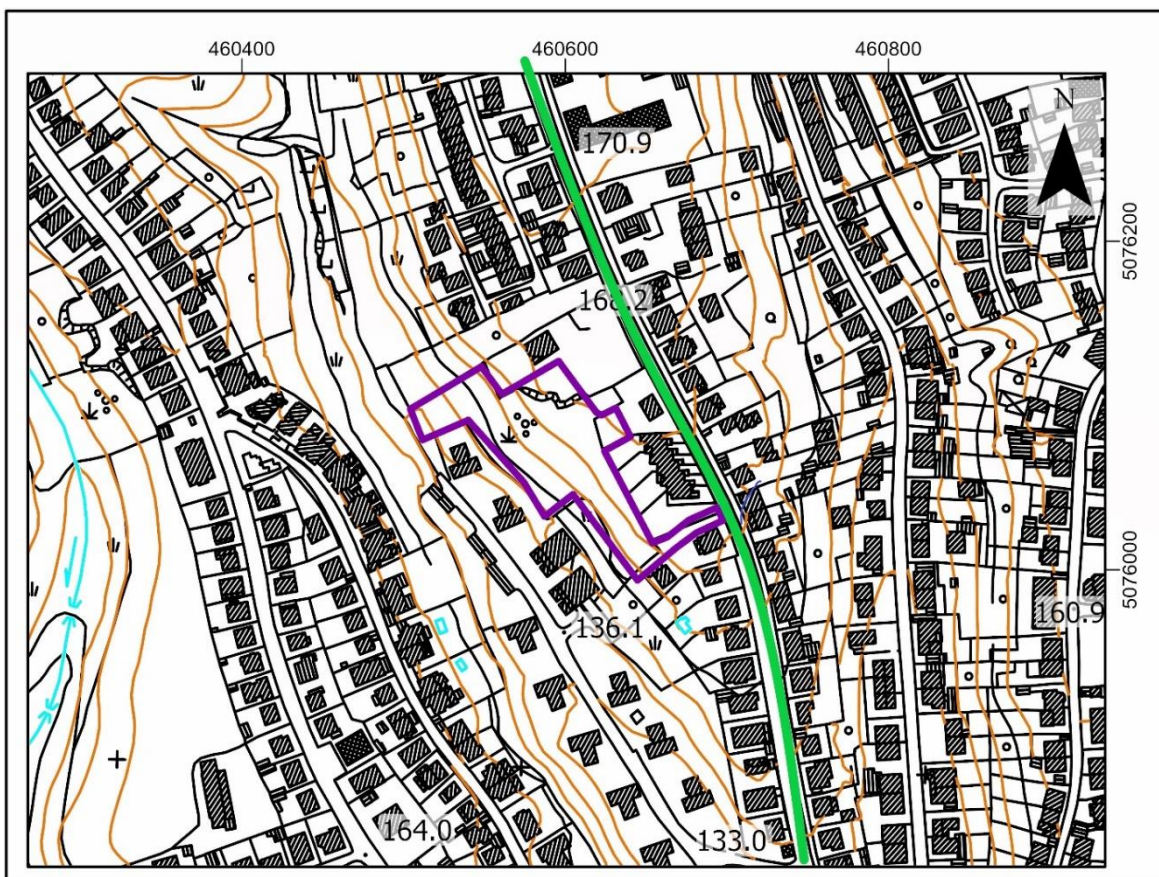
Klasifikacija tla te njen opis važna je jer ukazuje na fizičko-mehaničke značajke materijala nužne za daljnje projektiranje i modeliranje. Svrha inženjerske, geomehaničke klasifikacije tla je svrstavanje različitih vrsta tla u grupe s međusobno sličnim svojstvima, a provodi se na temelju fizičkih i mehaničkih svojstva tla. Postupak identifikacije i opisa inženjerskog tla na istraživanom terenu u ovom radu proveden je na temelju preporuka USBR-a 2001. (eng. *United States Bureau of Reclamation*) sukladnih s ASTM (eng. *American Society for Testing and Materials*) normama D2487 i D2488 (1996.) koje se odnose na geomehaničku klasifikaciju utemeljenu na USCS sustavu. Navedena klasifikacija je vizualno-manualna metoda identifikacije koja čini neizostavni dio svakog inženjerskogeološkog istraživanja. Prepoznavanje značajki tla na terenu je prvenstveno subjektivno pa se preporuča savjesno opisivanje prema jasnim i detaljnim uputama te standardima. Opis se sastoji od punog naziva tla i opisa materijala koji se razlikuje ovisno o veličini čestica (krupnozrnasto / sitnozrnasto) a zatim se promatraju „in situ“ uvjeti tj. masa tla.

2. Geografske i geomorfološke značajke lokacije

2.1 Geografske značajke lokacije

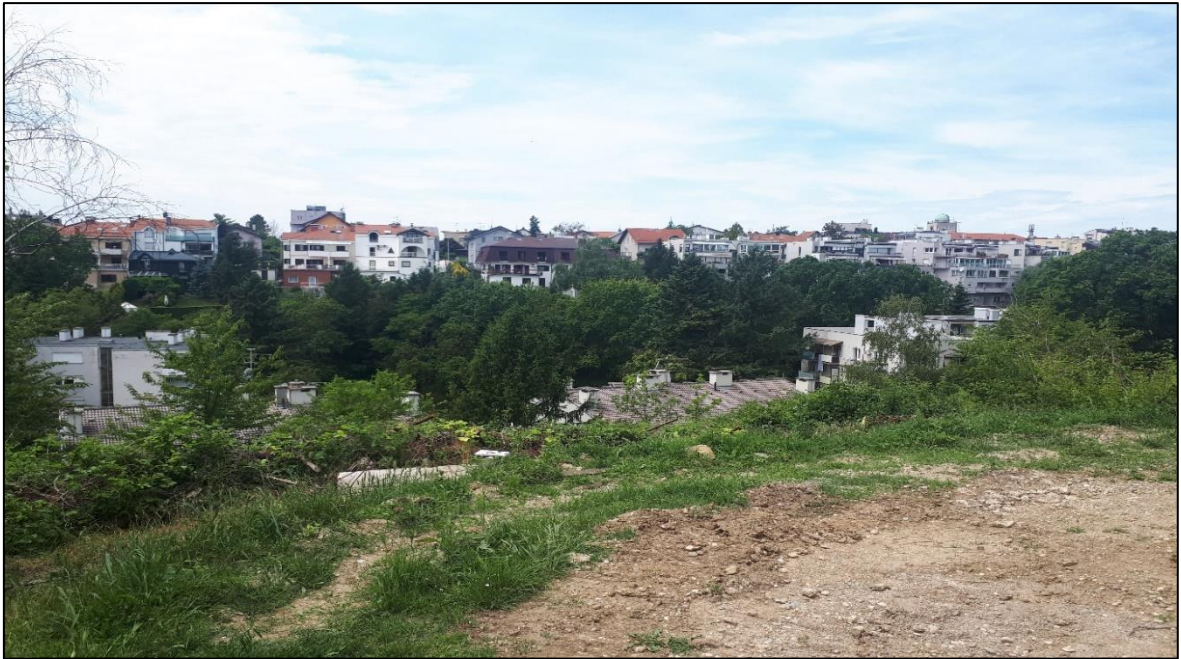
Istraživana lokacija (Slika 2-1.) nalazi se u kvartu Srebrnjak koji se nalazi u centru grada Zagreba. Srebrnjak je danas ulica na istoimenom brdu, smještena na južnim obroncima Medvednice. Administrativno se nalazi na granici gradskih četvrti Gornji grad (zapad) i Medveščak (istok).

Terenu se najlakše može pristupiti s već spomenute ulice Srebrnjak nasuprot kućnog broja 76. Kretanjem u smjeru zapada-jugozapada dolazimo do padine tj. glavnog dijela istraživanog terena udaljene oko pedeset metara od ceste. Padina je sa svoje zapadne i istočne strane okružena stambenim i privatnim građevinama (Slika 2-1.) te ima generalno pružanje SSZ–JJI, s izrazitim nagibom prema ZJZ.



Slika 2-1. Lokacija istraživanog područja Srebrnjak (grad Zagreb) na isječku Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5 000.

Vrh padine (Slika 2-2.) se nalazi na nadmorskoj visini oko 170 m, dok je najniža točka lokacije na 136 m n. m. Visinska razlika iznosi 34 m, a površina cijele lokacije oko 8500 m². Radi lakšeg pristupa bušotinama ali i preostalom terenu, padina je podijeljena na dvije razine. Na gornjoj razini (Slika 2-3.), ujedno i pri vrhu padine nalaze se tri bušotine B1 dubine (26,2 m), B2 (21 m) i B3 (20 m) međusobno razmaknute za otprilike 50 m.



Slika 2-2. Vrh padine.

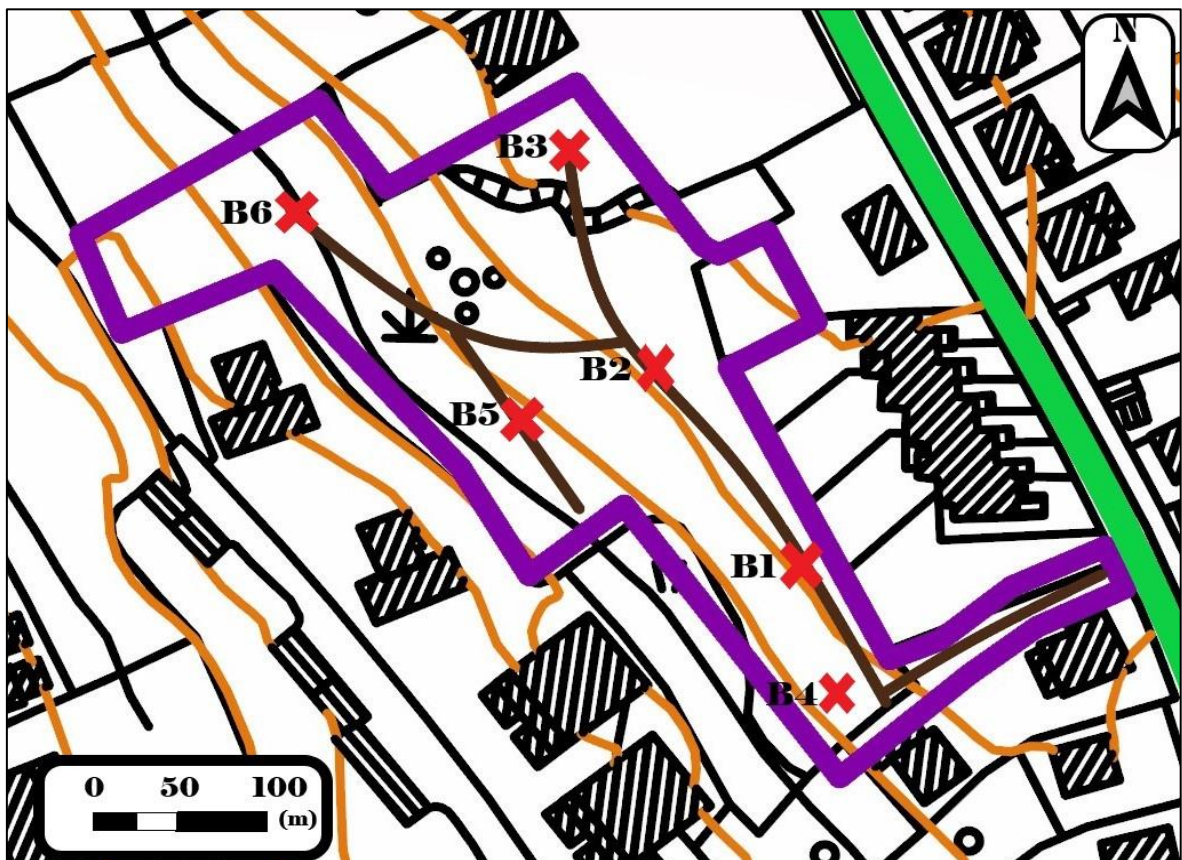


Slika 2-3. Gornja razina padine.

Na nižim dijelovima (Slika 2-4.) padine nalaze se dvije bušotine. U sjeverozapadnom dijelu padine bušotina B6 dubine (6,3 m) te bušotina B5 dubine (30,7 m). Zadnja bušotina B4 dubine (14,3 m) nalazi se u jugoistočnom dijelu padine (Slika 2-5.).



Slika 2-4. Niži dijelovi padine.

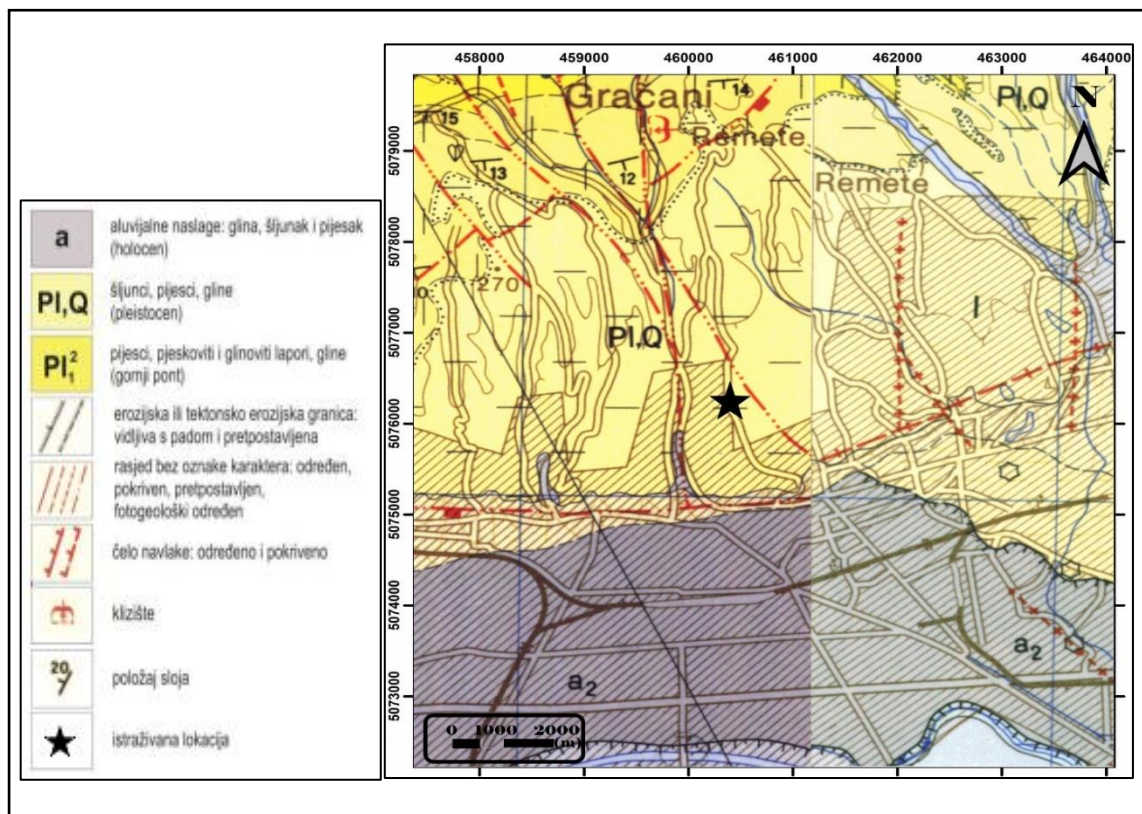


Slika 2-5. Skica rasporeda bušotina napravljena na temelju Hrvatske osnovne karte (HOK) originalnog mjerila 1:5 000 m.

2.2 Geomorfološke značajke lokacije

Grad Zagreb i okolno područje okarakterizirano je složenom geološkom građom. Tijekom povijesti područje je bilo izloženo stalnim promjenama i tektonici koja je pridonijela stvaranju različitih taložnih okoliša. Različiti taložni okoliši su uvjetovali stvaranje naslaga i stijena različitog litološkog i petrografskog sastava.

Proučavanjem isječka (Slika 2-1.) Osnovne geološke karte mjerila 1:100 000 (OGK, Šikić i suradnici, 1972.) nastalog spajanjem lista Zagreb te lista Ivanić-Grad pretežito prevladavaju dva tipa naslaga. Točnije šljunci, pijesci, i gline pleistocenske starosti (stara oznaka **PI,Q** nova **Q₁**), koji su dominantni u okolini samog istraživanog područja i protežu se zapad-istok. Sjeverno od istraživane parcele, u transgresivnom kontaktu s naslagama pleistocena, na udaljenosti oko 2,5 km nalaze se pjeskoviti i glinoviti lapori, pijesci i gline gornjeg pontaa (stara oznaka **PI²** nova **M²**). Također se na jugu pojavljuju i aluvijalne naslage(**a**); glina, šljunak i pijesak holocenske starosti.



Slika 2-6. Isječak iz Osnovne geološke karte (OGK) originalnog mjerila 1:100 000 dobiven spajanjem lista Zagreb (L 33-80 {lijevo}) te lista Ivanić-Grad (L 33-81 {desno}).

„Najveće površine terena na listovima Zagreb i Ivanić-Grad pokrivene su slatkovodnim levantskim (levant = donji pleistocen) naslagama (**Pl,Q / Q1**) koje se nalaze jugoistočnim, sjevernim, i sjeverozapadnim obroncima Medvednice. To su naslage slatkovodnih fluvijalno-jezerskih sedimenata koje se nalaze na različitim članovima tercijara, mezozoika i paleozoika. Osnovna karakteristika im je nepravilna izmjena šljunka, pijeska i gline koje dolaze u obliku leća ili tankih proslojaka. Rjeđe se može naići na uloške pješčenjaka i konglomerata. Krupnozrnasti sedimenti poput šljunaka su nesortirani, sastoje se od valutica najčešćeg promjera do 5 centimetara s rjeđim pojavama valutica promjera 5-20 centimetara. Sitnozrnasti sedimenti determinirani su kao pijesci, prahoviti pijesci, glinoviti pijesci, prahovi, glinoviti prahovi te prahovite ili pjeskovite gline. Općenito se za levantske naslage može pretpostaviti da im maksimalna debljina ne prelazi 150 metara.“ (K. Šikić, O. Basch, A. Šimunić, 1972. OGK mjerila 1 : 100 000; Tumač za list Zagreb L 33-80)

„Naslage gornjeg pontona (**Pl² / M²**) pružaju se jugoistočnim padinama Medvednice zastupljene u facijesu Rhomboidea-naslaga s brakičnim svojstvima. U sklopu tih naslaga pretežno su taloženi raznobojni pijesci ili pjeskoviti i glinoviti lapori. Rjeđe se javljaju ulošci gline te pješčenjaci i pjeskoviti šljunci. U bazi najčešće leže glinoviti ili pjeskoviti lapori, koji prelaze u slabo vezane glinovite pijeske ili glinovite prahove. Nevezani sedimenti su zastupljeni pijescima, prahovitim pijescima i pjeskovitim prahovima, s vrlo malo glinovite komponente. Mogući su i tanki proslojci pješčenjaka unutar pijeska determinirani kao vapnenački pješčenjaci ili siltiti. Debljina gornjopontskih naslaga varira u rasponu od 100 do 400 metara.“ (K. Šikić, O. Basch, A. Šimunić, 1972. OGK mjerila 1 : 100 000; Tumač za list Zagreb L 33-80)

3. Inženjerska klasifikacija tla

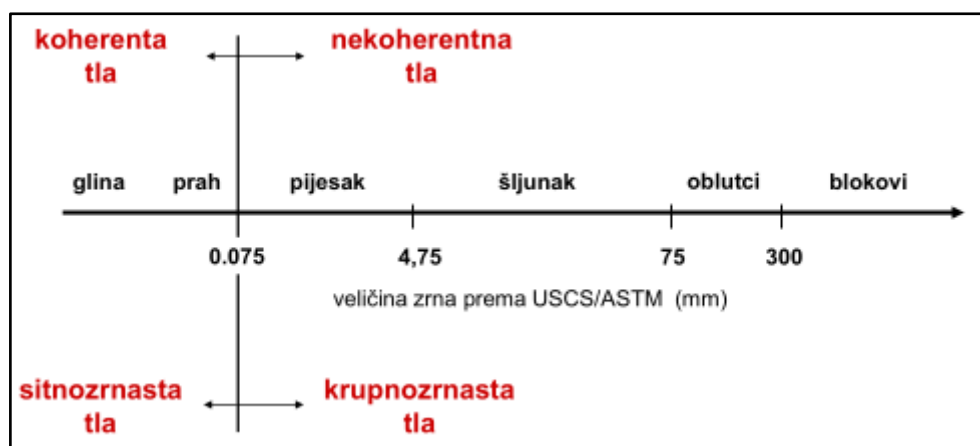
Svrha inženjerske, geomehaničke klasifikacije tla je svrstavanje različitih vrsta tla u grupe s međusobno sličnim svojstvima, a provodi se na temelju fizičkih i mehaničkih svojstva tla. Najvažnije i najrasprostranjenije klasifikacije tala su **BSCS** (eng. *British Soil Classification System*) utemeljena prema britanskoj normi BS 5930:1999, zatim **ESCS** (eng. *European Soil Classification System*) europska klasifikacija tla koja za inženjerske potrebe koristi opis i simbole prema normi EN ISO 14688-1. te u ovom slučaju korištena **USCS** klasifikacija tla (eng. *Unified Soil Classification System*).

Postupak identifikacije i opisa inženjerskog tla na istraživanom terenu je proveden na temelju preporuka **USBR-a** 2001. (eng. *United States Bureau of Reclamation*) sukladnih s **ASTM** (eng. *American Society for Testing and Materials*) normama D2487 i D2488 (1996.) koje se odnose na geomehaničku klasifikaciju utemeljenu na **USCS** sustavu. Navedena klasifikacija je vizualno-manualna metoda identifikacije primijenjena na jezgrama dobivenih bušenjem šest istraživačkih bušotina. Na nekolicini reprezentativnih uzorka također su provedena i laboratorijska ispitivanja tla u geomehaničkom laboratoriju u svrhu utvrđivanja fizičko-mehaničkih parametara tla.

Determinacija jezgre prema preporukama USBR-a provodi se izdvajanjem intervala sličnih ili istovrsnih tala, iz kojih se zatim odabere jedan uzorak za identifikaciju i opis. Svrha klasifikacije je razvrstavanje grupa tala prema njihovom inženjerskom ponašanju, a na temelju kriterija prilagođenih vizualno-manualnoj metodi. Vizualno-manualna metoda je neizostavni dio inženjerskogeološkog istraživanja. Prepoznavanje značajki tla na terenu je prvenstveno subjektivno pa se preporuča savjesno opisivanje prema jasnim i detaljnim pravilima.

3.1 Terenska klasifikacija tla

Prema USCS klasifikaciji tlo se može podijeliti prema dominantnoj veličini zrna na **krupnozrnasto** (eng. *granular, coarse*) izgrađeno od čestica većih od 0,075 mm tj. vidljivih golim okom te **sitnozrnasto** tlo (eng. *fine*) (Slika 3-1.). Krupnozrnasta tla se još smatraju i nekoherentna (eng. *noncohesive*) jer im je međusobna povezanost čvrstih čestica jako mala, dok se sitnozrnasta tla nazivaju koherentnima (eng. *cohesive*) zbog jakih privlačnih sila između čestica.

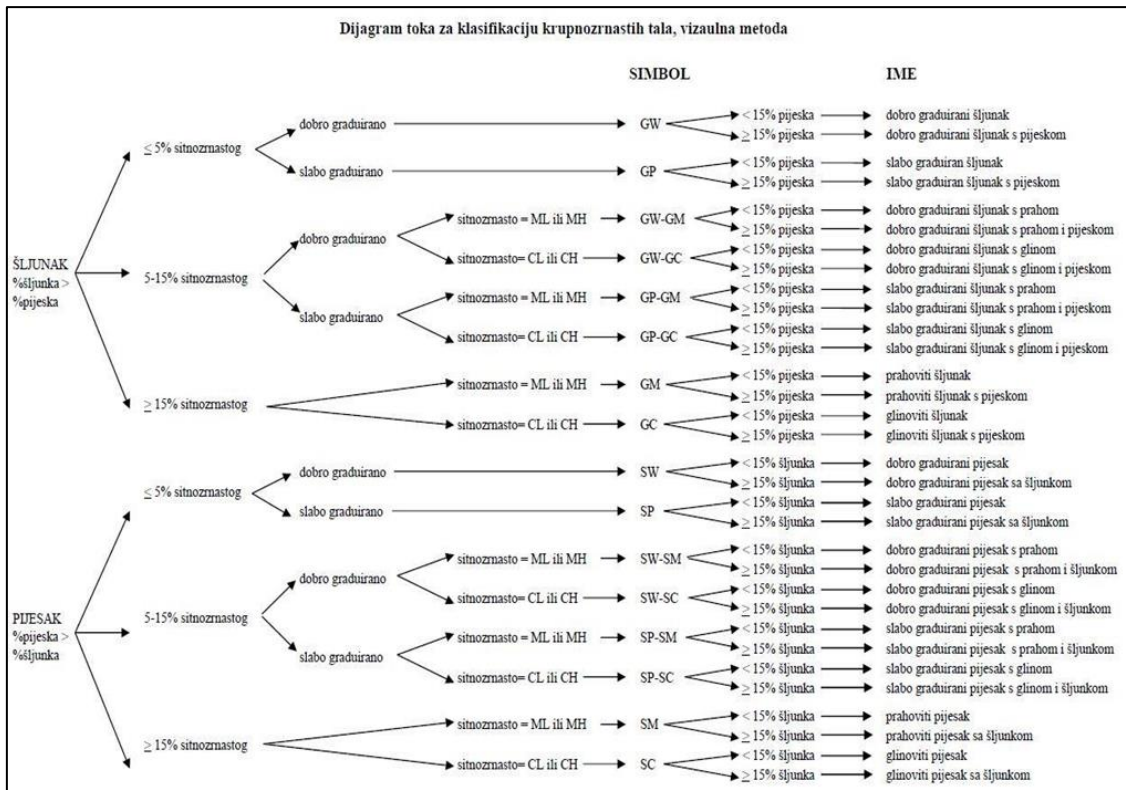


Slika 3-1. Podjela tla prema veličini i povezanosti čestica.

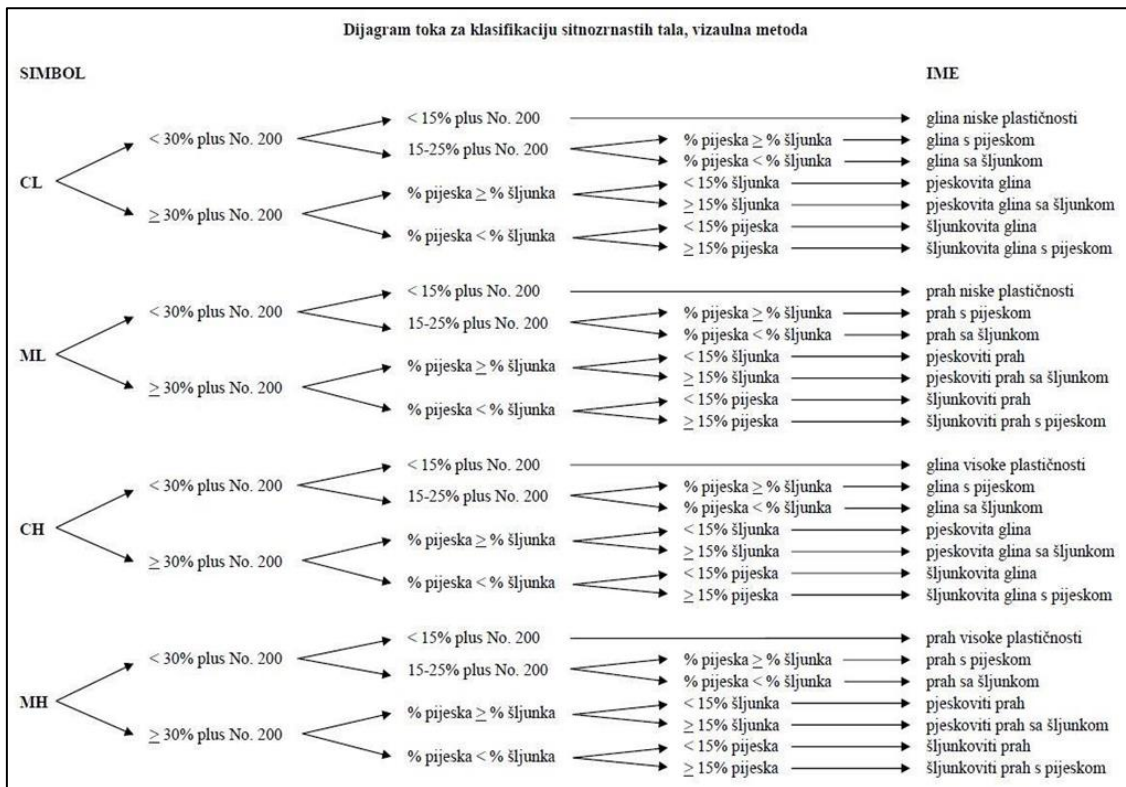
Ukoliko uzorak sadrži manje od 50% sitnozrnastih čestica nazivamo ga **krupnozrnastim** tlom. Ako tlo sadrži više **šljunka** nego pijeska, ono može biti dobro ili slabo graduirani šljunak (**GW, GP**); u protivnom ako sadrži više **pijeska** tlo može biti dobro ili slabo graduirani pijesak (**SW, SP**) (Slika 3-2.). Tlo je **čisto** krupnozrnasto ako je postotak sitnozrnaste frakcije vizualno procijenjen na 5% ili manje. Čisti šljunak i pijesak su dalje klasificirani prema granulometrijskoj podjeli.

Analogno tome ako uzorak sadrži više od 50% sitnozrnastih čestica govorimo o **sitnozrnastom** tlu. Takva tla se dijele na **prah** visoke/niske plastičnosti (**MH, ML**) i **glinu** visoke/niske plastičnosti (**CH, CL**) (Slika 3-3.). Tlo je **čisto** sitnozrnasto ukoliko sadrži manje od 15% krupnozrnastih čestica.

Ukoliko uzorak sadrži **oblutke** ili **blokove** (do 50 vol%) prethodno navedena imena krupnozrnastih i sitnozrnastih tala dobivaju nastavak „s blokovima“.



Slika 3-2. Dijagram toka za klasifikaciju krupnozrnastih tala (USBR-5005).



Slika 3-3. Dijagram toka za klasifikaciju sitnozrnastih tala (USBR-5005).

3.2 Geomehantički simboli (oznake) tla

Osim već spomenutih simbola za čisti šljunak (GW,GP), pijesak (SW,SP), prah (MH,ML) te glinu (CH,CL) postoje i dodatni simboli nastali kombinacijom ovih osnovnih.

3.2.1 Dvojni simboli

Dvojni se simboli međusobno odvajaju crticom, a najčešće se koriste u laboratorijskoj klasifikaciji kada krupnozrnasto tlo sadrži između 5 i 12% sitnozrnaste komponente; te u terenskoj klasifikaciji kada je sadržaj sitnozrnaste komponente procijenjen na oko 10%. Tada se sastoje od oznake za krupnozrnasto tlo (GW, GP, SW, SP) i simbola za krupnozrnasto tlo koje sadrži više od 30% sitnozrnaste komponente (GC, GM, SC, SM). Na primjer slabo graduirani šljunak s glinom ima oznaku GP-GC.

3.2.2 Granični simboli

Granični simboli se odvajaju kosom crtom, a koriste se kada tlo ima slična obilježja kao i neka druga vrsta tla. Često je teško vizualno odrediti kojoj grupi određena vrsta tla pripada pa se zato koriste granični simboli. Primjeri za odvajanje simbola kosom crtom su kada je postotak sitnozrnaste frakcije između 45 i 55% (GM/ML), kada je postotak pijeska i šljunka procijenjen na otprilike istu količinu (GP/SP), kada tlo može biti i dobro i slabo graduirano (SW/SP), kada tlo može biti i glina i prah (CL/ML) te kada sitnozrnasto tlo ima granična svojstva između tla niske i visoke plastičnosti (CL/CH).

3.2.3 Skraćeni simboli

Skraćeni simboli se koriste kada je prostor ograničen, kao npr. u prikazima presjeka bušotina; no oni nisu zamjena za puno ime tla i opisne informacije. Sadrže prefikse (**s** – pjeskovit, **g** – šljunkovit) i sufikse (**s** – s pijeskom, **g** – sa šljunkom, **c** – s oblucima, **b** – s blokovima). Na primjer pjeskovita glina (CL) ima skraćeni simbol s(CL).

4. Opis tla

Opisivanje tla kao i prepoznavanje značajki na terenu je subjektivno, zato je iznimno važno da osoba ima dovoljno iskustva te da prati detaljne smjernice i redoslijed opisa. Opis se sastoji od punog naziva tla i opisa materijala koji se razlikuje ovisno o veličini čestica (krupnozrnasto / sitnozrnasto). Zatim se promatraju „in situ“ uvjeti koji uključuju parametre i testove poput konzistencije, strukture, cementacije, vlažnosti, boje, mirisa i reakcije s HCl-om te se prikazuju rezultati. Dodatno se izražavaju komentari i napomene kao što je pojava određenih minerala, korijenja, šupljina ili sličnog te se određuje geološka pripadnost.

4.1 Opis krupnozrnastog tla

Krupnozrnasto tlo je tlo izgrađeno od čestica većih od 0,075 mm uz uvjet da ih ima više od 50 vol%. Opis takvog tla obuhvaća kriterije kao što je porijeklo materijala odnosno vrsta stijena od koje su frakcije izgrađene; raspon čestica: blokova i oblutaka, šljunka te pijeska; relativna čvrstoća koja ovisi o snazi udarca geološkim čekićem; te raspon uglatosti i oblik čestica.

Uglatost se određuje kod krupnog pijeska, šljunka, oblutaka i blokova prema kriterijima navedenim u tablici 4-1.

Tablica 4-1. : Opis uglatosti krupnozrnastih čestica.

Uglato	Čestice imaju oštre rubove i relativno ravne plohe
Polu-uglato	Čestice su slične uglatima, ali imaju zaobljene uglove
Polu-zaobljeno	Čestice imaju skoro ravne plohe, ali i dobro zaobljene uglove i rubove
Zaobljeno	Čestice imaju glatke i zaobljene plohe, bez rubova

Oblik čestica se opisuje za šljunak i krupnija zrna, ali govori se u udjelima određenog zrna. Duljina, širina i debljina se odnose na najveću, srednju i najmanju dimenziju čestica u tablici 4-2.

Tablica 4-2. : Opis oblika krupnozrnastih čestica.

Plosnato	Omjer širine i debljine je veći od 3
Izduženo	Omjer duljine i širine je veći od 3
Plosnato i izduženo	Omjer širine/debljine i duljine/širine je veći od 3

4.2 Opis sitnozrnastog tla

Sitnozrnasto tlo je tlo koje sadrži više od 50% sitnozrnastih čestica. Prilikom takvog opisa i identifikacije najčešće se mora zaključiti da li se radi o glini visoke (CH) ili glini niske (CL) plastičnosti ili o prahu visoke (MH) ili niske (ML) plastičnosti. Često su svojstva MH i CL međusobno slična pa se ponekad trebaju obaviti i laboratorijska ispitivanja. Odluka o kojem se sitnozrnastom materijalu radi donosi se na temelju četiri vizualno-manualno provedenih ispitivanja, dilatancije, suhe čvrstoće, žilavosti i plastičnosti.

Za postupak dilatancije (Tablica 4-3.) potrebno je dovoljno materijala za kuglicu promjera oko 12 mm. Taj se materijal mijesi uz pomoć vode dok se ne dobije meka ali ne i ljepljiva konzistencija. Zatim je potrebno zagladiti uzorak na dlanu ruke i tresti ga horizontalno, udarajući donju stranu ruke (s uzorkom) dlanom druge ruke. Slijedeći i zadnji korak je promatranje brzine pojave vode na površini uzorka te nestajanje vode ponovnim stiskanjem.

Tablica 4-3. : *Dilatancija sitnozrnastog tla.*

Nema	Nema vidljivih promjena u uzorku
Spora	Voda se pojavljuje sporo na površini uzorka tijekom trešnje i vrlo sporo, ili uopće ne nestaje stiskanjem
Brza	Voda se brzo pojavljuje na površini uzorka tijekom trešnje i brzo nestaje stiskanjem

Određivanje suhe čvrstoće (Tablica 4-4.) je slično postupku dilatancije samo što je potrebna veća količina materijala da se napravi kuglica promjera oko 25 mm. Materijal se također mijesi do konzistencije glinamola uz pomoć vode. Izdvajaju se tri uzorka oblikovana u kuglice promjera oko 12 mm te se suše na zraku, suncu ili umjetno. Najčešće se ostavljaju preko noći a zatim se određuje suha čvrstoća.

Tablica 4-4. : *Suha čvrstoća sitnozrnastog tla.*

Nema	Suhi uzorak se raspada gotovo bez pritiska prstiju
Niska	Suhi uzorak se raspada pritiskom prstiju
Srednja	Suhi uzorak se lomi u dijelove, ili raspada snažnim pritiskom prstiju
Visoka	Suhi uzorak se ne može slomiti pritiskom prstiju. Uzorak se lomi u dijelove između palca i čvrste površine
Vrlo visoka	Suhi uzorak se ne može slomiti pritiskom palca o čvrstu površinu

Test žilavosti (Tablica 4-5.) se može izvesti na istom uzorku na kojem je određena dilatancija. Uzorak se sada oblikuje u štapić ili valjčić valjanjem između dlanova do promjera 3 mm. Može se desiti da je uzorak previše vlažan za valjanje pa ga je potrebno razvući u tanki sloj da se osuši. Valjčić se presavija i ponovno valja sve dok se ne razmrvi. Tada se promatra pritisak potreban za valjanje pri granici plastičnosti i sama čvrstoća valjčića.

Tablica 4-5. : Opis žilavosti sitnozrnastog tla.

Niska	Potreban je mali pritisak za valjanje valjčića blizu granice plastičnosti. Valjčići i grumenje su slabi i mekani
Srednja	Srednji pritisak je potreban za valjanje valjčića blizu granice plastičnosti. Valjčići i grumenje imaju srednju stišljivost
Visoka	Značajan pritisak je potreban za valjanje valjčića blizu granice plastičnosti. Valjčići i grumenje imaju vrlo visoku stišljivost

Za vrijeme identifikacije žilavosti, na temelju opažanja određuje se i plastičnost prema tablici 4-6.

Tablica 4-6. : Plastičnost sitnozrnastog tla.

Neplastično	3 mm valjčić se ne može napraviti pri bilo kojoj vlažnosti
Niska	Valjčić se jedva napravi, a grumen tla nije moguće napraviti kada vlažnost padne ispod granice plastičnosti
Srednja	Valjčić se lako napravi, ali nije potrebno mnogo vremena da se dostigne granica plastičnosti. Grumenje se ne može ponovno valjati nakon što je dostignuta granica plastičnosti već se lomi.
Visoka	Potrebno je mnogo valjanja da bi se dostigla granica plastičnosti a nakon toga valjčić se može valjati još nekoliko puta prije sloma. Grumenje se može formirati i mijesiti bez drobljenja i kada je vlažnost manja od granice plastičnosti.

4.3 „In situ“ uvjeti (opis mase tla)

Pod opisom mase tla ponajprije govorimo o fizičkim karakteristikama tla poput konzistencije, strukture, cementacije, vlažnosti, boje, mirisa, te reakcije s HCl-om opisanim u sljedećim odlomcima.

Konzistencija je svojstvo koje opisuje stupanj čvrstoće za intaktna koherentna tla (Tablica 4-7.). Rezultati džepnog penetrometra i krilne sonde vrlo dobro nadopunjuju podatke o konzistenciji.

Tablica 4-7. : Opis konzistencije mase tla.

Vrlo meko	Palac penetrira u tlo više od 25 mm
Meko	Palac penetrira u tlo oko 25 mm
Plastično	Palac penetrira u tlo oko 5 mm
Tvrdo	Palac se ne može utisnuti u tlo, za razliku od nokta
Vrlo tvrdo	Nokat se ne može utisnuti u tlo

Pod strukturuom se misli na međusobni odnos materijala u tlu, a opisuje se prema kriterijima u tablici 4-8. (opisni termini nisu primjenjivi na stijene)

Tablica 4-8. : Struktura mase tla.

Slojevita	Izmjena slojeva različitog materijala ili boje. Potrebno je zabilježiti debljine slojeva.
Laminirana	Izmjena različitog materijala ili boje u slojevima tanjim od 6 mm. Potrebno je zabilježiti debljine lamina.
Raspucana	Drobi se duž jasno izraženih pukotina
Strijava	Plohe pukotina djeluju polirano ili sjajno, ponekad sa strijama
Blokovita	Koherentno tlo koje se može razlomiti u sitno i uglato grumenje, koje se opire daljnjem slomu
Lećasta	Manji ulošci različitog materijala, kao što su male leće pijeska raspršene u glini. Potrebno je zabilježiti debljinu.
Homogena	Ista boja, tekstura i struktura cijelim slojem

Cementacija (Tablica 4-9.) intaktnih koherentnih tla može biti slaba, srednja ili snažna.

Tablica 4-9. : Cementacija intaktnih koherentnih tala.

Slaba	Uzorak se drobi ili lomi laganim pritiskom prstiju
Srednja	Uzorak se lomi ili drobi snažnim pritiskom prstiju
Snažna	Uzorak se ne lomi niti drobi pritiskom prstiju

Vlažnost tla se opisuje kao suho, vlažno ili mokro stanje prema tablici 4-10.

Tablica 4-10. : *Vlažnost mase tla.*

Suho	Nedostatak vlage, prašnjavo, suho na opip
Vlažno	Vlažno, ali bez vidljive vode
Mokro	Vidljiva je slobodna voda, obično ispod razine podzemne vode

Boja je iznimno važno svojstvo u identifikaciji organskih tala te u determinaciji ostalih različitih tipova tla. Na određenom lokalitetu, boja nam može pomoći u razlikovanju materijala sličnih geoloških jedinica. Opisuje se na vlažnim uzorcima, a ako je materijal suh, potrebno je to zabilježiti. Boja se određuje na temelju standardnih tablica, među kojima je najpoznatiji sistem boja Munsell.

Miris se opisuje ukoliko je organski ili neobičan. Tlo koje sadrži značajnu količinu organske tvari obično ima karakterističan miris vegetacije, osobito u svježim uzorcima. Ukoliko je miris neobičan, kao npr. miris nafte ili kemikalije potrebno je odrediti porijeklo tog materijala te zabilježiti opasnost zapaljenja ili nekog drugog geološkog hazarda.

Reakcija s HCl-om (Tablica 4-11.) je važna zbog određivanja prisutnosti i zastupljenosti kalcita u tlu.

Tablica 4-11. : *Reakcija s HCl-om.*

Nema	Nema vidljive reakcije
Slaba	Slaba reakcija sa mjehurićima koji se stvaraju polako
Snažna	Snažna reakcija sa mjehurićima koji se odmah stvaraju

5. Rezultati istraživačkog bušenja

Istraživačko bušenje, istraživački iskopi, „in situ“ pokusi te geomehanička laboratorijska ispitivanja su osnovne metode geotehničkog istraživanja u svrhu dobivanja uvida u građu podzemlja. Tijekom bušenja na terenu (Slike 5-1. / 5-2.) uzimaju se poremećeni i neporemećeni uzorci za geomehanički laboratorij, te se provodi determinacija i opis jezgre bušotine. Prilikom opisa važno je istaknuti vrstu i opis materijala, količinu materijala, stanje materijala, pojavu ili razinu podzemne vode, nepredviđene uvjete bušenja te ostala zapažanja važna za identifikaciju inženjerskogeoloških uvjeta.



Slika 5-1. Stroj za bušotine Casagrande C6. Slika 5-2. Stroj za bušotine Geotech 604.

5.1 Inženjerskogeološke jedinice

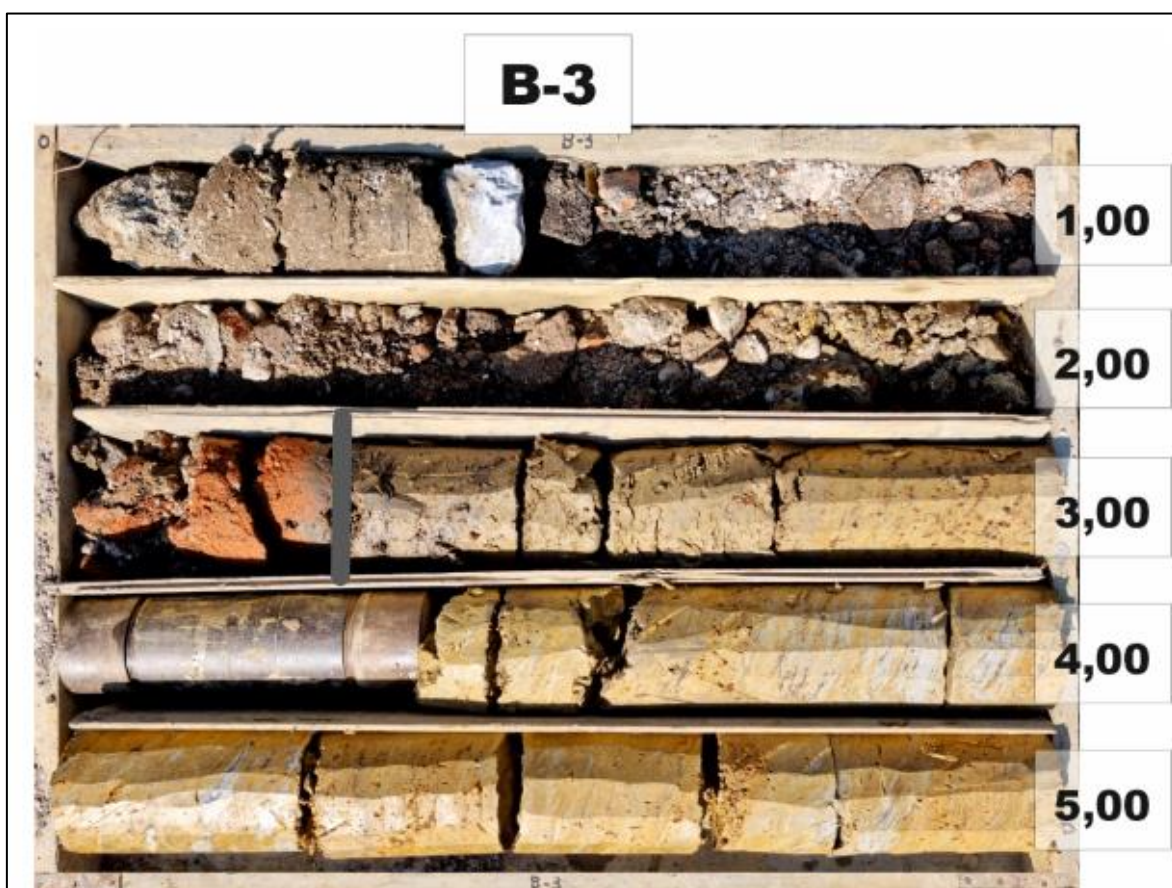
U okviru inženjerskogeoloških istraživanja važno je uočiti naslage lošijih mehaničkih svojstva od naslaga boljih mehaničkih svojstva. Radi razlikovanja tih naslaga koriste se pojmovi pokrivač i podloga, pri čemu su u podlozi općenito zastupljeni materijali i stijene boljih mehaničkih svojstva. Podlogu u ovom radu čini glina visoke (CH), glina niske (CL) plastičnosti, te izmjena krupnozrnastog / sitnozrnastog tla koji pripada pliokvartarnim naslagama. Nasip su umjetne transportirane naslage koje čine pokrivač, a pokrivač predstavljaju površinske naslage slabijih mehaničkih svojstva koje prekrivaju podlogu. Na temelju interpretacije materijala dobivenog jezgrovanjem, izdvojeno je i opisano četiri inženjerskogeoloških jedinica (Tablica 5-1.) : Nasip, glina visoke plastičnosti (CH), glina niske plastičnosti (CL) te izmjena krupnozrnastog / sitnozrnastog tla. Međusobni postepeni prijelazi iz jedne jedinice u drugu onemogućili su jednoznačno određivanje granica između njih.

Tablica 5-1. Izdvojene inženjerskogeološke jedinice.

Pokrivač (površinske naslage)	Transportirano tlo: umjetne naslage / <u>Nasip</u>	Sitnozrnasta tla, humus, građevinski otpad
Podloga	Netransportirano inženjersko tlo	<u>Glina visoke plastičnosti (CH)</u>
		<u>Glina niske plastičnosti (CL)</u>
		<u>Izmjena krupnozrnastog / sitnozrnastog tla</u>

5.2 Opis i klasifikacija tla inženjerskogeoloških jedinica

Najveća debljina nasipa zabilježena je u bušotini B3 na intervalu (Slika 5-3.) jezgre od 0 m do 2,30 m dubine. Naslage nasipa najčešće čine: heterogena mješavina pijeska i šljunka, humus, sitnozrnasto tlo homogene strukture te građevinski materijal poput cigle, betona, šute i sličnog materijala napravljenog ljudskom aktivnosti. Vrlo često je moguća pojava vegetacije i korijenja biljaka u plitkim dijelovima bušotine.



Slika 5-3. Nasip bušotine B3 intervala od 0 m do 2,30 m dubine.

Glina visoke plastičnosti (CH) je jedna od najzastupljenijih inženjerskogeoloških jedinica koja se pojavljuje duž cijele istraživane lokacije i u presjecima svih šest bušotina. Najistaknutiji dio naslaga tih jedinica vidljiv je na intervalu (Slika 5-4.) jezgre od 14,5 m do 19,5 m dubine bušotine B2. Općenito se tlo klasificira kao glina visoke plastičnosti ako sadrži manje od 15% krupnozrnastih čestica. Uobičajeni uzorci mogu imati visoku do vrlo visoku suhu čvrstoću, te visoku žilavost i plastičnost, a dilatancije nema.

Konzistencija je najčešće tvrda, a stanje vlažnosti vlažno. Boja se određuje prema standardnim tablicama, a struktura je pretežito homogena ili laminirana. Generalno nema reakcija s HCl-om, ali se mjestimično znaju pojaviti manganske i željezovite konkekcije.



Slika 5-4. Glina visoke plastičnosti (CH) u intervalu od 14,5 m do 19,5 m dubine bušotine B2.

Glina niske plastičnosti (CL) je druga najzastupljenija inženjerskogeološka jedinica koja također prevladava duž cijele lokacije i pojavljuje se u svim presjecima bušotina. Naslage su najbolje vidljive na intervalu (Slika 5-5.) jezgre od 8 m do 9,7 m dubine bušotine B4. Također se klasificira kao glina niske plastičnosti ako sadrži manje od 15% krupnozrnastih čestica. Uzorci najčešće imaju srednju do visoku suhu čvrstoću, srednju žilavost i naravno nisku plastičnost. Dilatacija može biti spora ili je nema.

Konzistencija takvih glina je plastična a stanje vlažnosti vlažno. Struktura je homogena a boja najčešće srednje do tamno žućkasto smeđa. Kao i kod glina visoke plastičnosti, generalno nema reakcija s HCl-om, ali su moguće manganske i željezovite konkreције.



Slika 5-5. Glina niske plastičnosti (CL) u intervalu od 8 m do 9,7 m dubine bušotine B4.

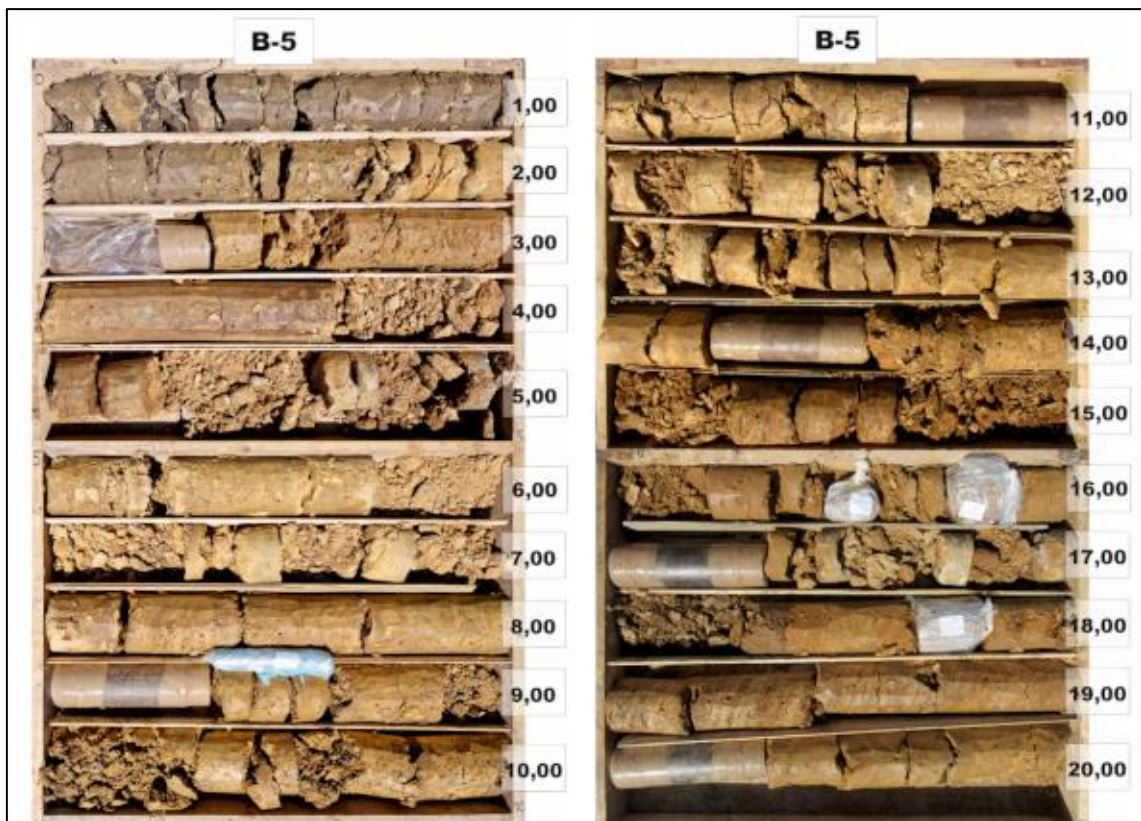
Izmjena krupnozrnastih / sitnozrnastih tla se proteže cijelim presjekom bušotine B5, ali se izrazito dobro vidi na generaliziranom intervalu (Slika 5-6.) jezgre od 0 m do 20 dubine. Izmjena se sastoji od članova krupnozrnastog tla: *prahovitog šljunka s pijeskom (GM)s i prahovitog pijeska (SM)* te članova sitnozrnastog tla; *praha visoke (MH) i niske (ML) plastičnosti* te već opisanih članova gline visoke (CH) i niske (CL) plastičnosti.

Član *prahoviti šljunak s pijeskom (GM)*s se pojavljuje u više navrata, a možemo ga uočiti na intervalu (Slika 5-6.) jezgre od 3,6 m do 5,2 m dubine bušotine B5. Ukoliko tlo sadrži više šljunka nego pijeska točnije ako pijeska ima više ili jednako od 15% klasificiramo ga kao prahoviti šljunak s pijeskom. Čestice šljunka mogu biti sitne ili krupne a pijeska krupne, srednje ili sitne. Relativna čvrstoća može biti čvrsta, srednje čvrsta ili mekana za čestice veće ili jednake 2 mm. Posebna se pozornost daje obliku i uglatosti čestica prema tablicama 4-1. i 4-2. Stanje vlažnosti je najčešće vlažno, a stanje konzistencije tvrdo. Struktura je heterogena a boja je srednje žućkasto smeđa.

Jezgra *prahovitog pijeska (SM)* vidljiva je na intervalu (Slika 5-6.) od 13,3 m do 16,5 m dubine bušotine B5. Ako tlo sadrži više pijeska nego šljunka, tj. ako je šljunka manje od 15% klasificiramo ga kao prahoviti pijesak. Struktura je najčešće heterogena, boja srednje žućkasto smeđa. Konzistencija je mekana do plastična, a stanje vlažnosti vlažno.

Prah visoke (MH) plastičnosti je vidljiv na intervalu (Slika 5-6.) od 12,1 m do 13,3 m dubine bušotine B5. Uzorci mogu imati srednju do nisku suhu čvrstoću, srednju do visoku plastičnost te srednju do nisku žilavost. Dilatancija može biti spora ili je nema. Struktura je homogena a boja tamno žućkasto smeđa. Tvrda konzistencija, stanje vlažnosti vlažno.

Prah niske (ML) plastičnosti je vidljiv na intervalu (Slika 5-6.) od 17,3 m do 18 m dubine bušotine B5. Uzorci imaju nisku ili nemaju suhu čvrstoću, srednju plastičnost te nisku žilavost ili se valjak ne može formirati. Stanje vlažnosti je vlažno dok je stanje konzistencije plastično. Boja je tamno žućkasto smeđa, a struktura homogena.



Slika 5-6. Izmjena krupno / sitnozrnastog tla u intervalu od 0,8 m do 20 m dubine bušotine B5. $\{(GM)_s=3,6-5,2m; (MH)=12,1-13,3m; (SM)=13,3-16,5m; (ML)=17,3-18m \}$.

6. Zaključak

Inženjerskogeološki opis i postupak klasifikacije tla na lokaciji Srebrnjak provedeni su u svrhu interpretacije inženjerskogeološkog modela terena, čija je svrha bila pružiti ulazne informacije za izradu geotehničkog modela i sigurno projektiranje te temeljenje stambenih građevina planiranih na lokaciji. U okviru istraživanja, provedena su i geodetska snimanja, inženjerskogeološko kartiranje terena, istraživačko bušenje šest bušotina te laboratorijsko ispitivanje fizičko-mehaničkih značajki materijala. Inženjerskogeološki opis i klasifikacija tla provedena je na ukupno 118,5 m izvađene jezgre iz bušotina. Dubine bušotina su bile slijedeće; B1 (26,20 m), B2 (21 m), B3 (20 m), B4 (14,30 m), B5 (30,70 m) B6 (6,30m).

Postupak identifikacije i opisa inženjerskog tla na istraživanom terenu u ovom radu proveden je na temelju preporuka USBR-a 2001. (eng. *United States Bureau of Reclamation*) sukladnih s ASTM (eng. *American Society for Testing and Materials*) normama D2487 i D2488 (1996.) koje se odnose na geomehaničku klasifikaciju utemeljenu na USCS sustavu. Navedena klasifikacija je poslužila kao vizualno-manualna metoda identifikacije, primijenjena na jezgrama dobivenih bušenjem šest istraživačkih bušotina.

Interpretacijom svih provedenih terenskih i laboratorijskih ispitivanja, te generalizacijom materijala dobivenog istraživačkim bušenjem; uspješno je izdvojeno i opisano četiri inženjerskogeoloških jedinica. Nasip, glina visoke plastičnosti (CH), glina niske plastičnosti (CL), te izmjena krupnozrnastog / sitnozrnastog tla. Nasip je najbolje vidljiv na intervalu jezgre bušotine B3 od 0 m do 2,30 m dubine. Glina visoke plastičnosti (CH) je vidljiva na intervalu jezgre od 14,5 do 19,5 m dubine bušotine B2, a glina niske plastičnosti (CL) na intervalu jezgre od 8 m do 9,7 m dubine bušotine B4. Izmjena krupnozrnastog / sitnozrnastog tla proteže se cijelim presjekom bušotine B5, no prikazna je na izrazito generaliziranom intervalu jezgre od 0,8 m do 20 m dubine.

Na temelju rezultata i opisa tih jedinica stvoreni su preduvjeti za krajnji rezultat, inženjerskogeološku interpretaciju geotehničkog modela. Stoga možemo zaključiti da je cilj pretvoriti sve podatke i rezultate dobivene inženjerskogeološkim opisom i klasifikacijom tla u koncept za daljnja istraživanja; ostvaren.

7. Reference

1. Basch O., 1980. Osnovna geološka karta (OGK) mjerila 1 : 100 000; Tumač za list Ivanić-Grad L 33-81
2. Basch O., Šikić K., Šimunić A., 1972. Osnovna geološka karta (OGK) mjerila 1 : 100 000; Tumač za list Zagreb L 33-80
3. Krkač M., Mihalić S., Bernat S., 2015. Inženjerska klasifikacija i opis tala; Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
4. Bureau of Reclamation, U.S. Department of the Interior, **USBR-5000**, "Procedure for Determining Unified Soil Classification (Laboratory Method)," Earth Manual, Part II, 3rd edition, 1990.
5. Bureau of Reclamation, U.S. Department of the Interior, **USBR-5005**, "Procedure for Determining Unified Soil Classification (Visual Method)," Earth Manual, Part II, 3rd edition, 1990.
6. American Society for Testing and Materials, **ASTM D-2487**, "Standard Classification of Soils for Engineering Purposes," ASTM Annual Book of Standards, Volume 04.08 on Soil and Rock, Section 4 - Construction, West Conshohocken, PA, 1996.
7. American Society for Testing and Materials, **ASTM D-2488**, "Standard Practice for Description and Identification of soils (Visual-Manual Procedure)," ASTM Annual Book of Standards, Volume 04.08 on Soil and Rock, Section 4 - Construction, West Conshohocken, 1PA, 1996.
8. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 436, Appendix I (Soil Taxonomy), December 1975.
9. Bureau of Reclamation, U.S. Department of the Interior, **USBR 3900**, "Standard Definitions of Terms and Symbols Relating to Soil Mechanics," Earth Manual, Part II, 3rd edition, 1990.



KLASA: 602-04/21-01/148
URBROJ: 251-70-14-21-2
U Zagrebu, 15.9.2021.

Robert Rihtarić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/148, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 29.4.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

INŽENJERSKOGEOLOŠKI OPIS I KLASIFIKACIJA TLA NA LOKACIJI SREBRNJAK (ZAGREB)

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Doc. dr. sc. Martin Krkač nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i suvoditeljicu Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara.

Voditelj:

(potpis)

Doc. dr. sc. Martin Krkač

(titula, ime i prezime)

Suvoditeljica

(potpis)

Dr. sc. Sanja Bernat Gazibara

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomске ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)