Mineraloška i geotehnička svojstva gornjomiocenskih sedimenata s klizišta Perjavica

Pocrnić, Damir

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:962021

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

GEOLOŠKI ODSJEK

DAMIR POCRNIĆ

MINERALOŠKA I GEOMEHANIČKA SVOJSTVA GORNJOMIOCENSKIH SEDIMENATA S KLIZIŠTA PERJAVICA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

DAMIR POCRNIĆ

MINERALOŠKA I GEOMEHANIČKA SVOJSTVA GORNJOMIOCENSKIH SEDIMENATA S KLIZIŠTA PERJAVICA

Diplomski rad
predložen Geološkom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog zvanja
magistra geologije

Mentori:
Prof.dr.sc. Darko Tibljaš
Dr.sc. Anita Grizelj

Zagreb, rujan 2021.

Zahvaljujem:

...Veliko hvala mentorima prof.dr.sc. Darku Tibljašu i dr.sc.Aniti Grizelj na predloženoj temi, neiscrpnoj pomoći, savjetima i stručnom vodstvu tijekom izrade ovog rada,

... Nedeljku Staniću, dipl.ing. Štefici Kampić, doc.dr.sc.Kristini Pikel, i izv.prof. dr.sc.Đurđici Pezelj na pomoći, usmjeravanju i ugodnom druženju prilikom laboratorijskih istraživanja,

...Tvrtki Geokon d.o.o. koja je omogućila boravak tijekom istražnog bušenja i ustupanju uzoraka,

...svim kolegama i kolegicama, posebno Antoniju, Andriji, Ivanu, Marti, Juraju i Karlu, gđi. Mariji Cindro i cijelom Geološkom odsjeku na pomoći, potpori, stečenim iskustvima i lijepim uspomenama tijekom studiranja,

... obitelji, prijateljima Mariju, Fukiju, Ivanu, Kreši, Borni, Lovri i Luki, a posebno mojoj Hani na nezaboravnim trenucima, strpljenju i bezuvjetnoj potpori tijekom svih ovih godina.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek

Diplomski rad

MINERALOŠKA I GEOMEHANIČKA SVOJSTVA GORNJOMIOCENSKIH SEDIMENATA S KLIZIŠTA PERJAVICA

DAMIR POCRNIĆ

Rad je izrađen: Mineraloško – petrografski i Geološko-paleontološki zavod, Geološki odsjek

Prirodoslovno – matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb;

Laboratorij za inženjersku geologiju, Hrvatski geološki institut, Milana Sachsa 2, 10 000 Zagreb

Sažetak: U ovom radu određene su i opisane zajednice minerala glina i njihova svojstva koja su povezana s nastankom klizišta na sjeverozapadnom dijelu grada Zagreba u ulici Perjavica. Uzorci su prikupljeni istražnim bušenjem do dubine od 15 metara koje je provela tvrtka Geokon d.o.o. Kvalitativna analiza zajednice minerala glina izvršena je pomoću metode rendgenske difrakcije, Scheiblerovim kalcimetrom izmjeren je udio kalcijevog karbonata u uzorcima, mokrim sijanjem i sedigrafom određena je veličina čestica, dok su od geomehaničkih svojstava određene granice tečenja, granice plastičnosti i indeks plastičnosti. Rezultati su pokazali da su u gornjomiocenskim sedimentima s klizišta Perjavica, od minerala glina prisutni smektiti, kloriti, illit-muskoviti i kaolinit. Prema granulometrijskim analizama svi uzorci s iznimkom najplićeg, pripadaju prahovima. Udio kalcijevog karbonata kreće se u rasponu od 18,71% do 38,65%. Geomehaničkim mjerenjima utvrđeno je da su svi uzorci gline visoke plastičnosti. Najveći utjecaj na geomehanička svojstva imaju veličina zrna, mineralni sastav, udio zatečene vlage i udio glinovite komponente. Sukladno tomu, gornjomiocenski sedimenti s klizišta Perjavica izgrađeni su od sitnozrnatih, plastičnih prahova podložnih fizičkom trošenju i promijeni geomehaničkih svojstava koje je zasigurno imalo veliku ulogu u formiranju klizišta, moguće i kao sam pokretač mase.

Ključne riječi: minerali glina, Atterbergove granice, gornjomiocenski sedimenti, klizište, geomehanička svojstva, mineraloška svojstva

Rad sadrži: XXXIX+92 stranice, 46 slika, 14 tablica, 61 referenca, 35 priloga,

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

Mentor(i): prof.dr.sc. Darko Tibljaš, redoviti profesor, PMF, Zagreb

dr.sc. Anita Grizelj, znanstveni suradnik, HGI, Zagreb

Ocjenjivači: prof.dr.sc. Darko Tibljaš, redoviti profesor, PMF, Zagreb

prof. dr. sc. Nenad Tomašić, redoviti profesor, PMF, Zagreb

izv. prof. dr. sc. Đurđica Pezelj, izvanredni profesor

Datum završnog ispita: 24.9.2021.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Geology

Master Thesis

MINERALOGICAL AND GEOMECHANICAL PROPERTIES OF UPPER MIOCENE SEDIMENTS FROM THE PERJAVICA LANDSLIDE

Damir Pocrnić

Thesis completed in: Division of Mineralogy and Petrology and Division of Geology and Paleontology

Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb

Engineering Geological Laboratory, Croatian Geological Survey, Milana Sachsa 2, 10 000 Zagreb

Abstract: In this paper, the communities of clay minerals and their properties related to the occurrence of landslides in the northwestern part of the city of Zagreb in Perjavica Street are determined and described. Samples were collected by exploratory drilling to a depth of 15 meters conducted by Geokon d.o.o. Qualitative analysis of the clay mineral community was performed using the X-ray diffraction method. Qualitative analysis of the clay mineral community was performed using the X-ray diffraction method. The results showed that in the Upper Miocene sediments from the Perjavica landslide, smectites, chlorites, illite-muscovites and kaolinite are present from clay minerals. According to granulometric analyses, all samples, with the exception of the shallowest one, belong to silt. The proportion of calcium carbonate ranges from 18.71% to 38.65%. Geomechanical measurements determined that all clay samples were of high plasticity. Grain size, mineral composition, moisture content and clay component content have the greatest influence on geomechanical properties. Accordingly, Upper Miocene sediments from the Perjavica landslide are composed of fine-grained, plastic silts subject to physical weathering and changing geomechanical properties, which certainly played a major role in landslide formation, possibly as a mass mover.

Key words: Clay minerals, atterberg limits, uppermiocene sediments, landslide, geotehnical proporties, mineralogical proporties

Thesis contains: VI + 92 pages, 46 figures, 14 tables, 61 references, 35 plates,

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central geological library, Faculty of Science, University of Zagreb

Supervisor(s): Darko Tibljaš, Ph.D. Full professor, PMF, Zagreb

Anita Grizelj, Ph.D. research associate, HGI, Zagreb

Reviewers: Darko Tibljaš, Ph.D. Full professor, PMF, Zagreb

Nenad Tomašić, Ph.D. Full Professor,

Đurđica Pezelj, Ph.D. Associate Professor,

Date of the final exam: 24.9.2021.

Sadržaj

1. Uvod ... 1
2. Teorijska osnova ... 3
2.1. Geološke karakteristike i geotektonski položaj istražnog područja ... 3
2.2. Razvoj miocenskih naslaga na području Sjevernohrvatskog bazena ... 6
2.3. Minerali glina ... 12
2.3.1. Struktura minerala glina ... 12
2.3.2. Klasifikacija minerala glina ... 14
2.3.3. Nastanak minerala glina ... 20
2.3.4. Svojstva minerala glina u inženjerskoj geologiji ... 21
2.4. Utjecaj trošenja i minerala glina na fizičko-mehanička svojstva i pojavu klizišta ... 24
3. Materijali i metode ... 27
3.1. Terensko uzorkovanje ... 27
3.2. Metoda rendgenske difrakcije ... 35
3.2.1. Izrada neorjentiranih preparata ... 39
3.2.2. Izrada orjentiranih preparata i rendgenske analize minerala glina ... 40
3.2.3.Tretiranje orijentiranih preparata ... 42
3.3. Kalcimetrija ... 43
3.4. Metoda mokrog sijanja i metoda sedigrafa ... 45
3.4.1. Mikropaleontološke analize ... 47
3.5. Geomehaničke metode analize ... 48
3.5.1. Određivanje zatečene vlage ... 48
3.5.2. Određivanje granice tečenja ... 49
3.5.2. Određivanje granice plastičnosti ... 51
4. **Rezultati** ... 53
4.1. Rezultati analize neorijentiranih cjelostijenskih preparati ... 53
4.2. Orijentirani preparati ... 56
4.2.Rezultati kalcimetrije ... 67
4.3. Rezultati granulometrijske analize ... 68
4.3.1. Rezultati mikropaleontološke analize ... 69
4.4. Rezultati geomehaničkih analiza ... 71
5. Rasprava ... 74
6. Zaključak ... 85
7. Literatura: ... 87
8. Prilozi ... v

1. Uvod

Klizišta predstavljaju vrstu egzodinamičkih geomorfoloških procesa koja nastaju kao posljedica kretanja mase stijena ili tla niz padinu klizanjem (*MIHALIĆ*, 2007). Klizanje može biti uzrokovano vanjskim silama poput gravitacije ili antropogenim čimbenicima. Pojava klizišta predstavlja ozbiljan problem zbog izravne ili neizravne štete koju mogu uzrokovati, stoga je praćenje pojave klizišta i razumijevanje svojstava stijena u kojima nastaju od velike važnosti. Ono nam najviše može pomoći pri prevenciji od neželjenih događaja.

Prema AIPEA (Association Internationale pour l'Etude des Argiles) (GUGGENHEIM i MARTIN, 1995) pojam glina odnosi se na prirodni materijal izgrađen od sitnozrnatih minerala koji dodatkom odgovarajuće količine vode postaje plastičan, a sušenjem ili žarenjem se ukrućuje. Izgrađene su od minerala glina koji predstavljaju najčešće hidratizirane alumosilikate nastale trošenjem primarnih minerala. Zbog svojih fizičko-kemijskih svojstava, ponajviše ponašanja prilikom promjene istih, minerali glina i njihov sastav unutar naslaga predstavljaju izrazito bitan čimbenik pri istraživanju i praćenju klizišta. Minerali glina često su u velikoj mjeri zastupljeni u sitnozrnatim koherentnim stijenama koje su pod snažnim utjecajem fizičkog i kemijskog trošenja, a samim time i podložnije klizanju i formiranju klizišta (BHATTARI i sur., 2006). Veliki dio podsljemenske zone grada Zagreba, čak 70%, izgrađen je od miocenskih i pliokvartarnih sitnozrnatih naslaga (ŠIKIĆ i sur., 1979; MIKLIN i ŠIKIĆ, 1997; MARTINČEVIĆ LAZAR, 2021) u kojima nerijetko dolazi do formiranja nestabilnih padina i pojave klizišta što predstavlja ozbiljan problem. su

Cilj ovog diplomskog rada bila je detaljna analiza sastava minerala glina i geomehaničkih svojstava gornjomiocenskih laporovitih naslaga te njihovo možebitno povezivanje s pojavom klizišta na sjevernom području ulice Perjavica kod broja 122 (Slika 1.1). Materijal za analizu dobiven je iz istražnih bušotina koje je za potrebe izrade geotehničkog elaborata izbušila tvrtka Geokon-Zagreb d.o.o. Bušenje je provedeno u gornjomiocenskim naslagama koje se nalaze u jugozapadnom podnožju planine Medvednice. U sklopu rada određen je sastav minerala glina metodom rendgenske difrakcije, granulometrijske analize provedene su mokrim sijanjem i sedigrafom, Scheiblerovim kalcimetrom izmjeren je udio $CaCO_3$, a geomehanički parametri opisani su postotkom zatečene vlage, granicama plastičnosti i vlažnosti, te indeksom plastičnosti. Laboratorijska mjerenja koja će biti opisana u nastavku

provedena su na Prirodoslovno-matematičkom faklutetu Sveučilišta u Zagrebu i u inžinjerskogeološkom laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta.



Slika 1.1.. Klizište na samoj ulici Perjavica kod kućnog broja 122

2. Teorijska osnova

2.1. Geološke karakteristike i geotektonski položaj istražnog područja

Geološka građa planine Medvednice, njen geotektonski položaj kao i vrlo složen strukturni sklop već više od 140 godina privlači pažnju stranih i domaćih geologa. Ključni uzrok dobroj istraženosti jest njena blizina gradu Zagrebu, glavnom gradu i velikom znanstvenom središtu u Republici Hrvatskoj.

Medvednica je razdijeljena u tri gorske cjeline ili jezgre izgrađene od paleozojskih i mezozojskih stijena, međusobno odvojene neogenskim sedimentima (ŠIKIĆ, 1995). Jugozapadni dio od Podsuseda do prijevoja Kašina-Laz tvori glavni trup Medvednice, u užem opsegu nazvan i Zagrebačka gora. Izgrađen je od naslaga različitih starosti, od paleozojskih niskometamorfnih škriljavaca, preko mezozojskih vulkanita i plutonita do neogenskih i kvartarnih sedimenata. Sjeveroistočni dio planine pripada gorskoj skupini Drenove, te je također izgrađen od paleozojskih, mezozojskih i neogenskih stijena. Treća i najmanja gorska cjelina nalazi se između Gornje Stubice i Marije Bistrice, a njoj pripada uzvišenje Hum-Šagudovec-Hum šuma, koje je većinom izgrađeno od stijena mezozojske starosti.

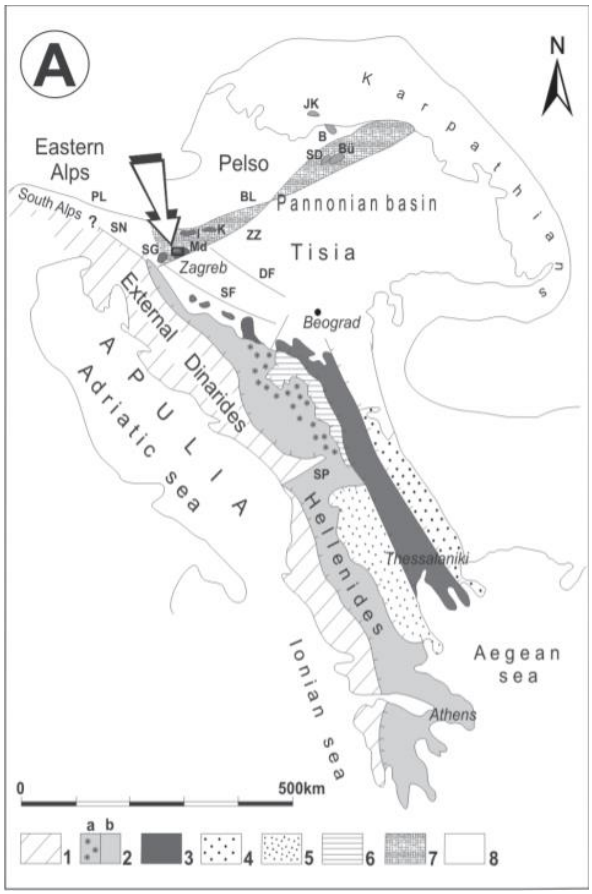
Tradicionalno, Hrvatska se geološki ugrubo može podijeliti na tri velike cjeline: vanjski Dinaridi, u koje pripadaju većinom karbonatne naslage taložene na Jadransko-dinaridskoj karbonatnoj platformi, unutarnji Dinaridi u koje pripadaju gorja unutrašnje Hrvatske te južni i jugozapadni dijelovi Panonskog bazena.

PAMIĆ (1999) Medvednicu smješta unutar 120 kilometara duge Zagorje-srednjetransdunavske zone koja pripada južnom dijelu Panonskog bazena. Omeđena je s Perijadransko-balatonskim i Zagreb-Zemplen rasjednim sustavima. Graniči s Dinaridima na zapadu, Južnim Alpama na sjeveru i sjeverozapadu, s Tisijom na istoku te naposljetku s Centralnom Dinaridskom ofiolitnom zonom na jugu (SLOVENEC i LUGOVIĆ, 2012; Slika 2.1.).

Zagorje-srednjetransdunavske zona označena je kao prijelazni alpsko-dinaridski megablok jer su u njemu ugrađene stijene iz obje tektonostratigrafske jedinice: tektonski

ofiolitni melanž, paleozojsko-trijaski sedimentno-magmatsko-metamorfni kompleks s krednim *overprint* metamorfizmom, trijaske klastične karbonatne naslage i gornjokredno-paleogenski fliš (PAMIĆ i TOMLJENOVIĆ, 1998). Sve ove jedinice prisutne su na Medvednici.

Stijene sedimentno-magmatsko-metamorfnog kompleksa zastupljene su na južnim i jugoistočnim padinama Medvednice uključujući i glavni hrbat planine. Predstavljaju stratigrafski najstarije naslage. Karakteriziraju ga sedimentne i metamorfne stijene niskog stupnja metamorfizma poput šejlova, slejtova, filita, tinjčevih škriljavaca, metamorfozirane grauvake, rekristalizirani vapnenci i zeleni škriljavci. Biostratigrafskim analizama dobiven je raspon starosti od silura do karnika (LUGOVIĆ i sur., 2006 i ondje navedene reference).



Slika 2.1. Prikaz geotektonskih jedinica na prostoru Hrvatske i susjednih zemalja: 1) Vanjski Dinaridi i Alpe; 2) Unutarnji Dinaridi (2a: Centralna-dinaridska ofiolitna zona; b:Pasivna kontinentalna granica i Mirdita zona u Albaniji i Grčkoj); 3) Sava zona; 4) Srpsko-makedonski masiv; 5) Pelagonijski metamorfni kompleks; 6) paleozojska Golija zona; 7) Zagorje-srednjetransdunavska zona; 8) Panonski bazen; BL- Balaton; DF- Dravski rasjed; Pl- Perijadranska zona; SF- Savski rasjed; SP- Skadar-Peć transformni rasjed; SN- Sava navlaka; ZZ-Zagreb-Zemplen rasjedni sustav; I- Ivanšćica; K- Kalnik; Md- Medvednica; SgŽ – Samoborska gora i Žumberak; SD – Szarvaskö-Darnó. B – Bódva udolina; JK – Jaklovce; preuzeto iz SLOVENEC i LUGOVIĆ, (2012).

Tektonski ofiolitni melanž, nazvan Repno kompleks predstavlja kaotičnu tvorevinu koji odgovara melanžu Sjevernodinaridskog megabloka. Osim na Medvednici, razvijen je na Ivanščici (BABIĆ i sur.,1979) i na Kalniku (ŠIKIĆ i sur., 1979; PAMIĆ, 1996). Budući da se Repno kompleks interpretira kao dio akcreacijskog klina u njemu dolazi više različitih tipova stijena koje tijekom petrogeneze inače ne dolaze zajedno poput šejlova, jastučastih bazaltnih lava, pješčenjaka, rožnjaka te u manjoj mjeri gabroidne te ostale mafitne i ultramafitne stijene. Javljaju se kao strukturno deformirani blokovi različitih dimenzija, unutar šejlovitog matriksa (BABIĆ i ZUPANIČ, 1978). Biostratigrafskim datiranjem palinomorfa unutar matriksa (BABIĆ i sur., 2002) dobivena je jurska starost.

Iduću tektonsku jedinicu čine trijaski platformni karbonati koji su navučeni na stijene ofiolitnog melanža, paleozojsko-trijaske metamorfite i gornjokredno-paleocenski fliš. Mogu se naći na jugozapadnom i sjeveroistočnom dijelu Medvednice. Najstarije naslage pripadaju aniščkim dolomitima rijetko s proslojcima šejlova, rožnjaka i piroklastita (ŠIKIĆ, 1995).

Na aniščke dolomite naliježu ladinički i gornjotrijaski dolomiti (ŠIKIĆ i sur., 1979). Dolomiti su sive boje, većinom dobro uslojeni sa slojevima centimetarskih do decimetarskih debljina taloženi u plitkom litoralnom okolišu (ŠIKIĆ, 1995).

Posljednji kompleks koji opisuje PAMIĆ (1999) izgrađen je od gornjokredno-paleocenskog fliša koji transgresivno leži na metamorfitima i ofiolitnom melanžu. U donjem dijelu prevladavaju slabo sortirani konglomerati s valuticama okolnih stijena te pješčenjaci. Nakon njih slijede dobro sortirani konglomerati i santon-kampanski pješčenjaci koji u najvišem dijelu prelaze u dubokovodne, pelagičke prahovite sedimente i biomikritne, crvenkaste Scaglia vapnence s pojavom velikih bentičkim foraminifera (ŠIKIĆ i sur., 1979).

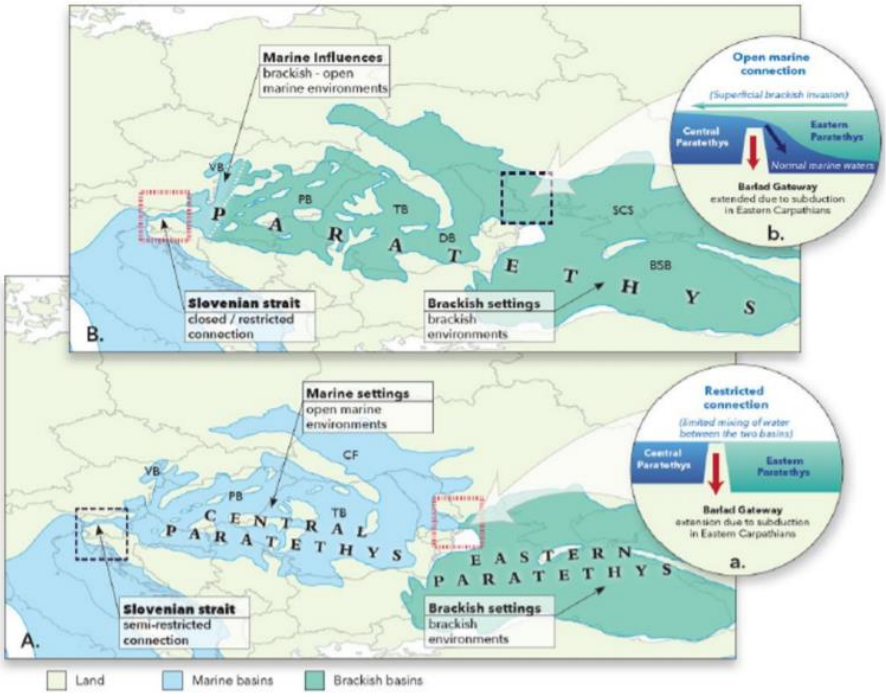
2.2. Razvoj miocenskih naslaga na području Sjevernohrvatskog bazena

Budući da su miocenske naslage s južnih obronaka Medvednice predmet ovog istraživanja, u sljedećem poglavlju bit će detaljnije opisan razvitak taložnih prostora kroz geološku povijest na prostoru današnje unutarnje i sjeverne Hrvatske, koji se u to vrijeme nalazio na južnom i jugozapadnom rubu Panonskog bazena, odnosno naslage koje su u njima taložene.

Nakon dinamičkih promjena vezanih za koliziju Jadransko-dinaridske karbonatne platforme i Laurazijskog kopna, kojima završava period paleogena, tijekom neogena na prostoru južnog dijela Panonskog bazena odvija se taloženje većinom jezerskih i marinskih sedimenata koji prekrivaju starije stijene te karakteristično okružuju takozvana „otočna“ gorja (BUCKOVIĆ, 2006).

Kolizijom afričke i euroazijske ploče dolazi do uzdizanja velikih ulančanih planina (Alpa, Dinarida i Helenida) što ocean Tethys dijeli na dva dijela: sjeverni dio odnosno Paratethys i južni dio (budući Mediteran) koji su u početku bili međusobno povezani (VRSALJKO i sur., 2006 i ondje navedene reference).

Zbog različitih uvjeta taloženja, koji su vladali u njegovim različitim dijelovima, i drugačijih paleontoloških karakteristika, Paratethys je podijeljen na Centralni Paratethys, u kojem su taložene miocenske naslage na prostoru današnje Hrvatske, Slovenije, Mađarske, Austrije, Srbije, Rumunjske, djelom Slovačke i Poljske te Istočni Paratethys koji se nalazio na prostoru današnjeg Crnog mora i istočnije prema Kaspijskom jezeru (Slika 2.2.).



Slika 2.2. Prikaz paleogeografske evolucije Paratethysa:

A. Jedinstveni Paratethys tijekom gornjeg badena; taloženje se na istočnom dijelu odvija u većinom bočatim uvjetima, dok se na sjeverozapadnom dijelu vidi utjecaj marinske transgresije, veza s Mediteranom održava se na mjestu slovenskog tjesnaca;

B. Raspad Paratethysa u donjem sarmatu na centralni i istočni dio uz ograničenu poveznicu na prostoru Crnog Mora. U Centralnom Paratethysu odvija se marinska sedimentacija za razliku od istočnog dijela gdje prevladavaju bočati uvjeti (PALACU i sur., 2015).

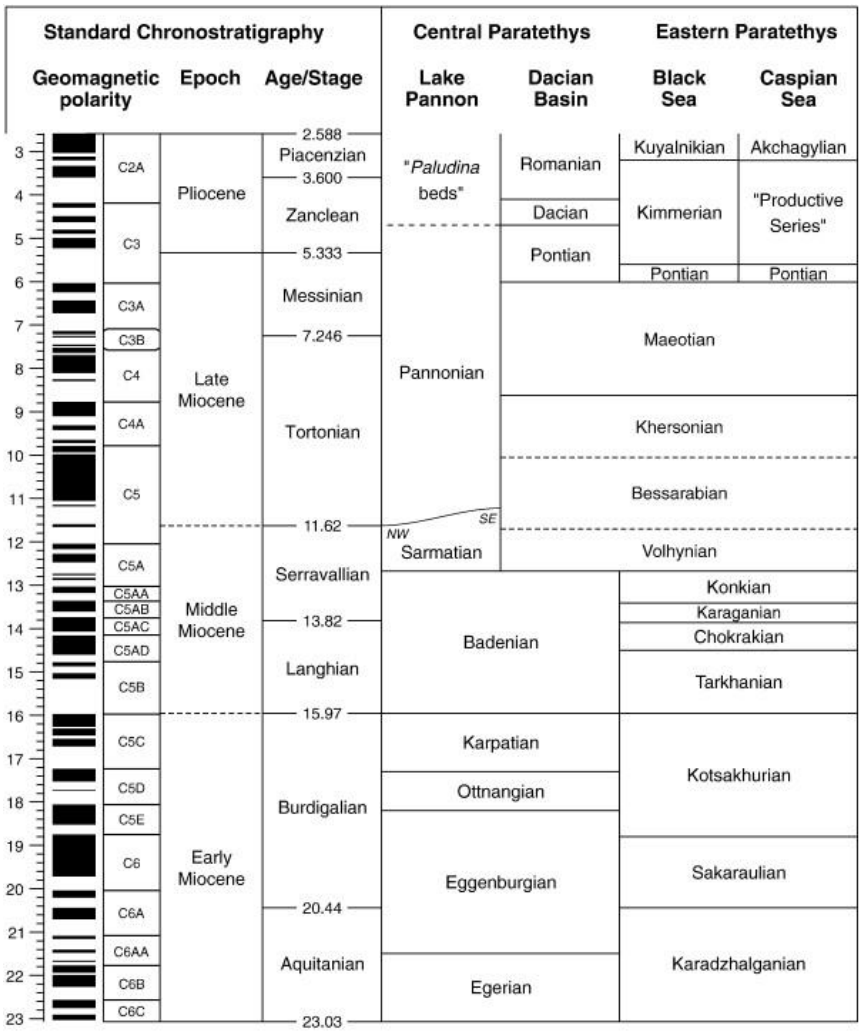
Prostor koji je zauzimao Centralni Paratethys tradicionalno se naziva Panonski bazen te je sa svih strana okružen mladim, ulančanim gorjima (Alpama, Dinaridima i Karpatima). Nastao je u miocenu kao posljedica ekstenzijskog riftovanja i sadrži nekoliko manjih podbazena koji su međusobno odvojeni kopnenim naslagama (PAVELIĆ, 2001). U to vrijeme prostor sjeverne i središnje Hrvatske paleogeografski je bio smješten na jugozapadnom rubu Središnjeg Paratethysa, (Slika 2.3.).

Upravo zbog izoliranosti bazena Paratethysa i međusobnih razlika u vidu taložnih uvjeta teško je korelirati naslage iz jednog i drugog dijela bazena. Određeni sedimentacijski događaji, na primjer trangsregsija, te pojava slatkovodnih ili marinskih organizama na nekim su mjestima nastupili ranije, a na nekim mjestima kasnije, stoga korelacija može biti i pomalo problematična. Shodno tome za oba su bazena osmišljene raznoimene geokronološke i kronostratigrafske jedinice, koje se pak razlikuju od klasičnih koje se koriste za mediteranski

razvoj. Na Slici 2.4. jasno je vidljivo vremensko nepodudaranje između pojedinih kronostratigrafskih jedinica srednjeg i gornjeg miocena Mediterana, Panonskog bazena i naslaga Dacijskog bazena, Crnog mora i Kaspijskog jezera zbog različitih uvjeta u taložnom okolišu i neujednačene pojave marinske ili jezerske faune.



Slika 2.3. Prostorni položaj bazena Hrvatskog zagorja i Sjevernohrvatskog bazena unutar Centralnog Paratethysa; crvenom bojom podebljana je lokacija Sjevernohrvatskog bazena, siva boja predstavlja stijene starije od neogena dok bijela boja označava područja na kojima su na površini neogenske i kvartarne stijene, isprekidana linija dijeli dva taložna bazena, a zakrivljena linija definira zapadnu granicu Centralnog Paratethysa (ĆORIĆ i sur., 2009).



Slika 2.4. Pregled različitih kronostratigrafskih podjela neogena, točnije miocena i pliocena. Na lijevoj strani nalaze se jedinice istaložene na prostoru Mediterana (južnog ogranka nekadašnjeg Tethysa) i one se uzimaju kao standardna kronostratigrafija, dok su s desne strane jedinice prisutne na području Centralnog i Središnjeg Paratethysa; Centralni Paratethys dijeli se na jezero Panon i Dacijski taložni bazen, a Istočni dio na bazen Crnog mora i Kaspijskog jezera; (preuzeto iz NEUBAUER i sur., 2015).

Tijekom donjeg miocena na području sjeverne Hrvatske postojala su dva odvojena taložna bazena različitih sedimentacijskih karakteristika: puno manji bazen Hrvatskog zagorja i Sjevernohrvatski bazen (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018). Do njihova ujedinjenja u jedinstveni taložni prostor dolazi tek u karpatu.

Veliku ulogu u različitim uvjetima taloženja unutar Sjevernohrvatskog bazena imaju i neogenski tektonski poremećaji te izdizanje astenosfere što za posljedicu dovodi do ekstenzijskog riftovanja i listričkog normalnog rasjedanja te formiranja uzvisina i depresija (graben-horst strukture) poput Savske, Dravske, Karlovačke ili Bjelovarske depresije (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018; SAFTIĆ i sur., 2003).

Evolucija Sjevernohrvatskog bazena može se podijeliti u dvije bitne faze koje su oblikovale uvjete taloženja u smislu transgresivno-regresivnih ciklusa. Prva faza je sin-riftna faza koja se odvijala od otnanga do srednjeg badena. Kao rezultat rasjedanja i istovremene rotacije krovinskih blokova, klimatskih promjena, vulkanizma i eustatičkih promjena morske razine okoliš taloženja prijelazi iz kontinentalnog u marinski. U to vrijeme, zbog izdizanja mladog ulančanog gorja, dolazi do pucanja veze između južnog Tethysa i Parathetysa čime potonji postaje veliko jezero (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018).

Za razliku od bazena Hrvatskoga zagorja, gdje najstarije naslage pripadaju egeru taloženje unutar Sjevernohrvatskog bazena počinje kasnije u otnangu sedimentacijom u kopnenim okolišima. Dominiraju krupnozrnati klastiti konglomerati i s ponegdje uklopljenim lećama šljunka, pijeska ili praha. Ove naslage, koje diskordantno naliježu na stariju podlogu, interpretiraju se kao facijes aluvijalne lepeze u početnom stanju ekstenzijskih procesa. (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018 i ondje navedene reference, MANDIĆ i sur., 2012).

Sama Medvednica nalazila se kao emergirano uzvišenje na jugozapadnom rubu Sjevernohrvatskog bazena. Taloženje kopnenih naslaga trajat će sve do sredine badena kada započinje marinska sedimentacija. Ranije se karpat uzima za početak transgresije, međutim ĆORIĆ i sur. (2009) proučavanjem nanoplanktonskih mikrofosila te kasnije, MANDIĆ i sur. (2012), MARKOVIĆ (2017) zaključuju kako je ona vjerojatnije započela kasnije, u badenu.

Bazni dio karpata karakteriziran je močvarnim naslagama na koje dolaze jezerski karbonati u kombinaciji s laporima, šejlovima, konglomeratima i muljnjacima s proslojcima turbidita što upućuje na dublje dijelove jezera. U gornjem dijelu karpata dolazi do pokrupnjavanja naviše, progradacije delte i oplićavanja (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018).

Sedimentacija u karpatu bila je popraćena eksplozivnim vulkanizmom na što upućuju naslage tufova i tufita na Medvednici te promjenom dotadašnje suhe klime u vlažniju, humidnu Završetak jezerskih uvjeta u donjem badenu označava taloženje prahovitih lapora upućujući na produbljivanje (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018 i ondje iznesene reference).

Prema BAKRAČ i sur. (2010) na sjeverozapadnom rubu Sjevernohrvatskog bazena do prijelaza iz jezerskih u marinski okoliš dolazi u srednjem badenu. Raste globalna razina mora te transgresija zahvaća širi prostor Panonskog bazena. Taloženje se odvija u transgresivno-regresivnim ciklusima uz pojačanu vulkansku aktivnost (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018).

U srednjem badenu dolazi do postupnog prekida ekstenzijskog režima naprezanja i završetka riftovanja. Taloženje se odvija unutar dva transgresivno-regresivna ciklusa (ĆORIĆ i sur., 2009). Završetak badena karakteriziran je padom morske razine kao posljedica odvajanja Centralnog Parathetysa od Mediterana što će se nastaviti i početkom sarmata uz popratno smanjenje saliniteta.

Najrasprostranjenije stijene u sarmatu su masivni, horizontalno laminirani lapori uz periodički donos pješčanog materijala unutar bazena (GALOVIĆ i BAJRAKTAREVIĆ, 2006; GALOVIĆ, 2017). KOVAČIĆ i sur. (2015) opisuju rijetku pojavu bentonita kao rezultat aliteracije vulkanskog stakla nastalog za vrijeme sin-riftne faze.

Tijekom panona, nastavlja se izolacija Panonskog bazena (Centralnog Parathetysa) od Sredozemnog mora uz veliki utjecaj rijeka, koje su donosom slatke vode nekadašnje more pretvorile u bočato jezero. Zbog sve većeg oslađivanja sarmatska fauna izumire, a umjesto njih razvijaju se panonske endemske vrste organizama naročito mekušaca.

Sedimentacija se kontinuirano nastavlja na sarmat uz znatni pad morske razine (PILLER i sur., 2007). Naslage donjeg panona Sjevernohrvatskog bazena nazivaju se „croatica naslage“ po čestim pojavama puža *Radex croatica* (Gorjanović-Kramberger, 1890). Uz lapore javljaju se jezerski, pločasti vapnenci i konglomerati.

U gornjem panonu dolazi do produbljivanja i taloženja sitnozrnatih lapora. Ove naslage nazivaju se „banatica naslage“ po učestalim fosilnim ostacima školjke *Congeria banatica* (R. Hoernes) Jenko (1944)?. Mjestimično dolazi do formiranja krupnozrnatih sedimenata s prisutnom badensko-sarmatskom faunom.

Lapori istaloženi u sjeverozapadnom i centralnom dijelu Sjevernohrvatskog bazena mogu sadržavati proslojke pijeska koji upućuju na progradaciju delte (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018). Prijelaz u pliocen karakterizira diskordantna granica i zapunjavanje riječnim nanosima koje nije bilo jednoliko na prostoru cjelokupnog jezera te granica miocen/pliocen nije ujednačena za prostor Sjevernohrvatskog bazena (MANDIĆ i sur., 2015).

U noviju podjelu miocena u njegov najmlađi dio ulaze „abichi“ i „rhomboidea“ naslage koji su u starijoj stratigrafiji pripadali donjem pliocenu odnosno, pontu (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018 i ondje navedene reference). Starije „abichi“ naslage taložene su u brakičnom jezeru i zastupljene su pojavom sitnozrnatih lapora i pijeska. Ime su dobile po školjci *Paradacana abichi* koja uz ostale školjkaše poput *Congeria zagrabiensis* i *Congeria digitifera*

i ostrakode često dolazi u ovim naslagama kao fosil. Mlađi „rhomboidea“ dio karakteriziraju pjeskoviti, siltozni lapori, kvarcni pijesci, brakični pijesci, šljunci i glinovito-pjeskovite naslage.

2.3. Minerali glina

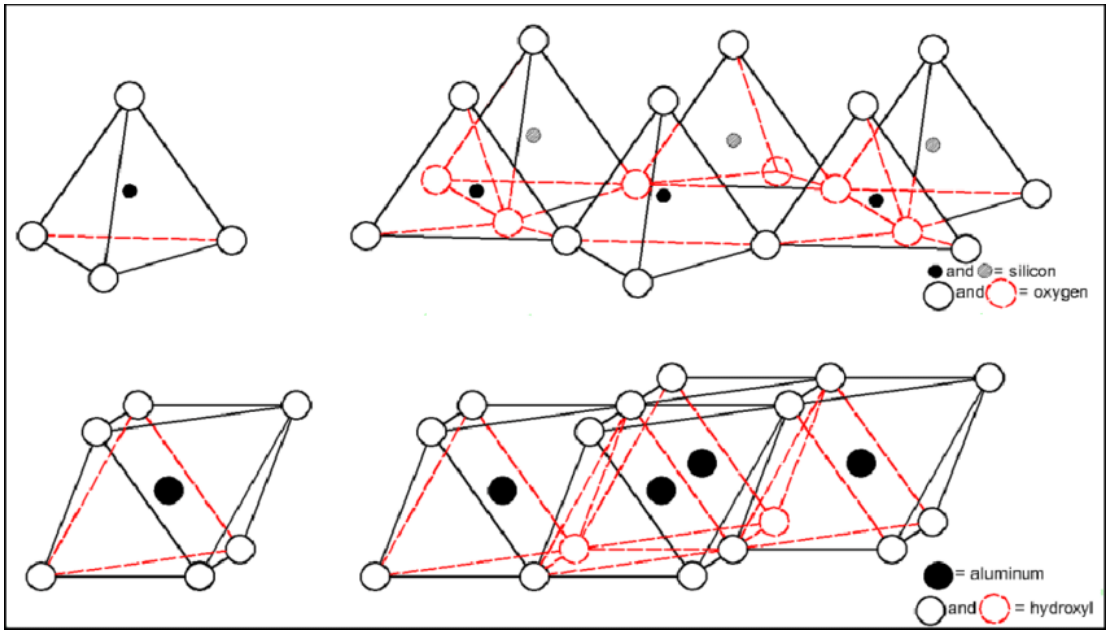
2.3.1. Struktura minerala glina

Za početak vrlo je važno istaknuti kako pojmovi minerali glina i gline nisu istoznačnice i koriste se za označivanje različitih pojmova. Prema AIPEA (Association Internationale pour l'Etude des Argiles) i CMS (The clay minerals society) termin minerala glina odnosi se na prirodni materijal, izgrađen najviše od sitnozrnatih minerala, koji uz dodatak određene količine vode postaju plastični, dok sušenjem ili žarenjem postaju čvrsti, odnosno kruti (FIORE i sur., 2013). S druge strane *International Society of Soil Science* gline definira kao čestice u tlu veličine manje od 2 μm, to jest 0,002 mm dok se u sedimentologiji, pojam glina odnosi na veličinu čestica manju od 4 μm (0,004 mm).

Budući da se podjela minerala po razredima temelji na kemizmu, odnosno dominantnoj anionskoj skupini, minerali glina ne postoje kao razred već pripadaju u filosilikate, koji su karakteristični po tome što su SiO_4 tetraedri međusobno povezani preko tri zajednička vrha u heksagonsku mrežu. Minerali glina ističu se po svojoj prepoznatljivoj strukturi. Ona se sastoji od paketa tetraedarskih i oktaedarskih slojeva međusobno povezanih preko jedne zajedničke ravnine izgrađene od kisikovih atoma, smještenih u vrhovima tetraedara, koji zamjenjuju hidroksilne skupine iz jedne ravnine oktaedarskog sloja. Kemijska formula tog sloja je $O_4(OH)_2$.

Još jedna tipična pojava kod minerala glina jesu česte izmjene iona u strukturi. Moguće su zamjene između iona čije razlike u veličini radijusa ne dovode do promjena u strukturi i rasporedu atoma (koordinacijskog broja).

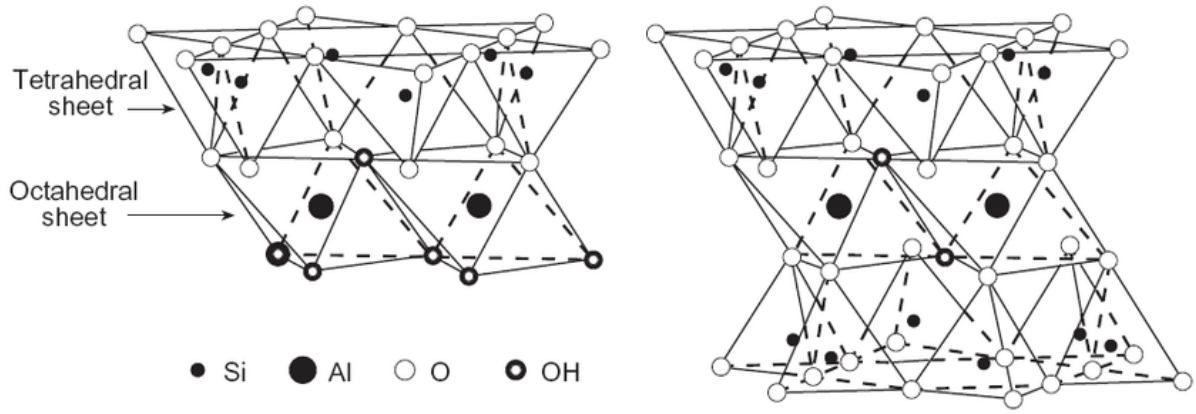
Tetraedarski slojevi (Slika 2.5.) sastoje se od SiO_4^{4-} tetraedara povezanih preko tri kisikova atoma u slojeve dok četvrti kisikov atom pripada samo pojedinom tetraedru. Kisikovi ioni nalaze se u vrhovima spomenutih tetraedara. Formula sloja je $Si_4O_{10}^{4-}$. Dio silicija (Si^{4+}) u određenim uvjetima može biti zamijenjen s aluminijem (Al^{3+}) koji tako ulazi u strukturu minerala. U strukturama tinjaca tetraedarski slojevi s obje strane međusloja između dva paketa leže točno jedna na drugoj. Zbog različitih mogućih načina slaganja tetraedarski slojeva unutar paketa često se javlja politipizam.



Slika 2.5. Grafički prikaz tetraedarskog (gornji crtež) i oktaedarskog sloja (donji crtež) unutar strukture minerala glina. Vidljivo je kako se unutar tetraedarskih slojeva nalaze atomi silicija okruženi s četiri atoma kisika te su tetraedri međusobno povezani preko tri zajednička vrha (odnosno atoma kisika) dok je jedan izoliran. U oktaedarskom sloju centralni kation (aluminij, magnezij ili željezo) okružen je sa šest OH skupina, oktaedri su međusobno povezani preko dva zajednička vrha. Uočljive su dvije ravnine sa po tri OH skupine iznad i ispod središnjeg kationa. Preuzeto iz: ABOUBAKAR i sur., (2013).

Oktaedarski sloj (Slika 2.5.) sastavljen je od središnjeg kationa, najčešće Al^{3+}, Mg^{2+}, Fe^{2+} ili Fe^{3+}, koji je okružen sa šest atoma kisika ili šest OH skupina. Tri aniona nalaze se ispod kationa, dok su ostala tri smještena iznad. Oktaedri se preko dva zajednička kisikova atoma ili OH skupine povezani u slojeve. Oni mogu biti: dioktaedarski ili trioktaedarski. Dioktaedarski sloj naziva se i gibbsitni, po mineralu gibbsitu [$Al(OH)_3$] u kojem je opisan i definiran. Sastav sloja jest Al_4OH_{12}. U njemu su trovalentnim kationima popunjena dva od tri oktaedarska položaja, dok je jedan prazan.

Međutim, u trioktaedarskom sloju, koji se može naći i pod imenom brucitni sloj po mineralu brucitu [$Mg(OH)_2$], sva su oktaedarska mjesta popunjena s dvovalentnim kationima. Formula sloja glasi Mg_6OH_{12}. Tetraedarski i oktaedarski slojevi mogu se slagati na dva načina, tako da tvore pakete tipa 1:1 (oktaedarski sloj i na njega se veže tetraedarski sloj) ili 2:1 (dva tetraedarska sloja i oktaedarski sloj među njima) kao što je prikazano na Slici 2.6.



Slika 2.6. Lijeva slika prikazuje 1:1 tip slaganja slojeva s donjim, oktaedarskim slojem, dok je s desne strane 2:1 tip strukture minerala glina. Manji crni kružići prikazuju atome silicija, veće crne točke atome aluminija, točke s bijelom ispunom atome kisika dok crno-bijele točke predstavljaju OH skupinu. Izvor: EL-RAMADY (2016).

2.3.2. Klasifikacija minerala glina

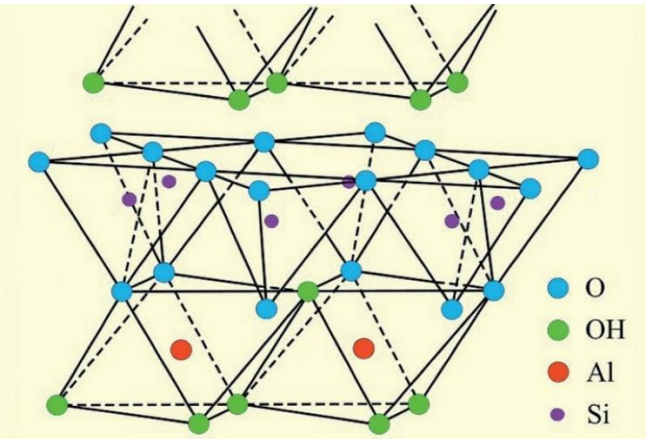
Minerali glina razlikuju se po vrsti paketa slojeva, njihovom naboju i međuslojnom materijalu. Stoga, MOORE i REYNOLDS (1997) dijele ih na minerale glina s tipom slojeva 1:1, minerale glina s tipom slojeva 2:1 bez naboja, minerale glina s tipom slojeva 2:1 s nabojem približno 1, minerale glina s tipom slojeva 2:1 s nabojem manjim od 1, i konačno miješanoslojne ili interstratificirane minerale glina.

Kada govorimo o mineralima glina valja naglasiti kako pojmovi poput smektita, illita ili klorita ne označavaju mineralnu vrstu kao kod većine minerala već se radi o mineralnoj grupi s često širokim rasponom kemijskog sastava i fizičkih karakteristika. Unutar tih grupa mogu se razlikovati određeni članovi s usko definiranim i preciznim kemijskim sastavom, stoga se, na primjer, dva smektita mogu bitno razlikovati.

Nadalje, minerali glina s tipom slojeva 1:1 uglavnom nemaju naboj ili je on neznatan zbog toga što su kationska mjesta u strukturi tetraedarskog sloja popunjena sa Si^{4+}, a u oktaedrijskom sloju Al^{3+} ili Mg^{2+} kationima. Ovdje pripadaju serpentinski minerali koji pokazuju trioktaedarski(ili brucitni) tip slaganja s većim kristalnim individuima zbog čega se puno rjeđe mogu naći unutar glinovite frakcije. Njihova formula je $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ uz moguće zamjene s Fe^{2+} i Al^{3+} u oktaedrijskom i Al^{3+} u tetraedarskom sloju. Zasigurno najpoznatiji član

ove podgrupe jest vlaknasti krizotil koji često dolazi u formi azbesta, a osim njega javljaju se antigorit, amesit, lizardit, berthierin i odinit (MOORE i RAYNOLDS, 1997).

Grupa kaolina-serpentina također je obilježena tipom slaganja paketa slojeva 1:1 (Slika 2.7.), bez naboja zbog čega je mogućnost zamjene mala, ako ne i zanemariva. Poneki kaoliniti mogu imati negativan naboj, ali to je zbog pojave između 0,1 i 10% vermikulitnih, smektitnih ili tinjčevih slojeva (MOORE i RAYNOLDS, 1997 i ondje navedene reference). Slojevi su debljine 4,5 Å s periodičnim ponavljanjem svakih 7 Å. Međusobno su povezani slabim vodikovim vezama pa minerali iz ove grupe imaju savršenu kalavost po baznom pinakoidu {001}. Po tome kakav je oktaedarski sloj mogu se razlikovati dvije podgrupe: kaolinski i serpentinski minerali.

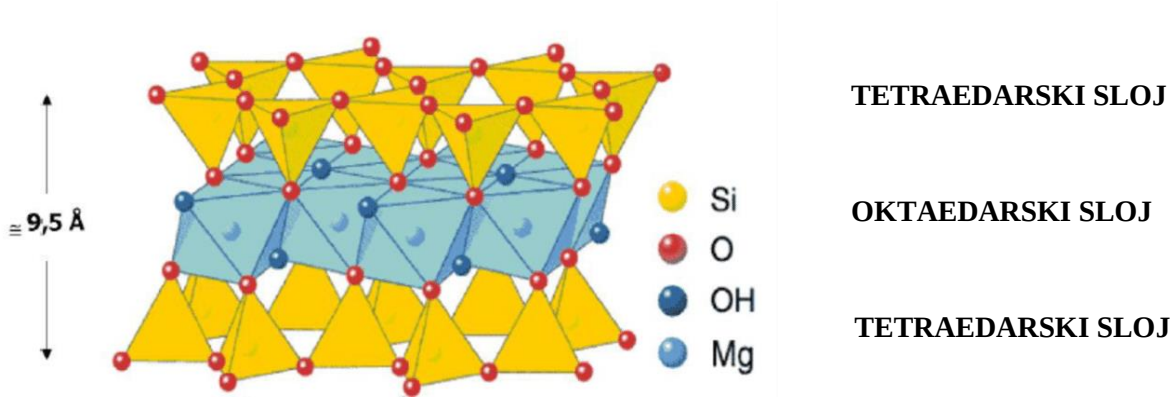


Slika 2.7. Struktura kaolinita; raznobojne točkice predstavljaju različite atome ili OH skupinu, tip strukture 1:1; Izvor: [1].

Kaolinski minerali imaju dioktaedarski sloj, a predstavlja ih kaolinit, kao jedan od najvažnijih i najzastupljenijih minerala glina, dickit, halloysit i nakrit. Sastav je uglavnom čisti $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ osim kod halloysita gdje ulaze još dvije molekule vode u strukturu ($Al_2Si_2O_5(OH)_4 * 2H_2O$), stoga halloysit, za razliku od ostalih minerala iz ove grupe, ima periodičnost 10 Å. Unutar strukture dickita, nakrita i kaolinita položaj vakancije unutar oktaedarskog sloja u susjednim paketima je različit, stoga oni kristaliziraju u drugačijim kristalnim sustavima te je riječ o pojavi polimorfije, odnosno politipije. Konkretno kaolinit kristalizira u triklinskom dok dickit i nakrit kristaliziraju u monoklinskom sustavu.

Kao najbolje istraženi mineral i s najširom primjenom među predstavnicima ove grupe, kaolinit najčešće dolazi u različitim dijagenetskim okolišima, a ponajviše u toplim, vlažnim klimama nastaje trošenjem feldspata, a može nastati i njihovom hidrotermalnom aliteracijom. Javlja se i prilikom dijageneze stijene prilikom koje zapunjava pore u stijeni. Isto tako može nastati kao produkt izmjene piroklastičnih naslaga tufova i tufita u kiselim sredinama (MOORE i RAYNOLDS, 1997).

U minerale glina s tipom slojeva 2:1 bez naboja pripada grupa talka-pirofilita čiji predstavnici imaju periodičnost oko 9,3 Å (Slika 2.8.) s rijetkim ionskim zamjenama. Krajnji članovi su trioktaedarski talk [$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$] i dioktaedarski pirofilit [$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$] koji međusobno ne tvore čvrste otopine zbog velike razlike u ionskim radijusima između Mg^{2+} (0,65 Å) i Al^{3+} (0,50 Å) (MOORE i RAYNOLDS, 1997).



Slika 2.8. Prikaz strukture talka; paket tipa 2:1, OLIVERA, (2017).

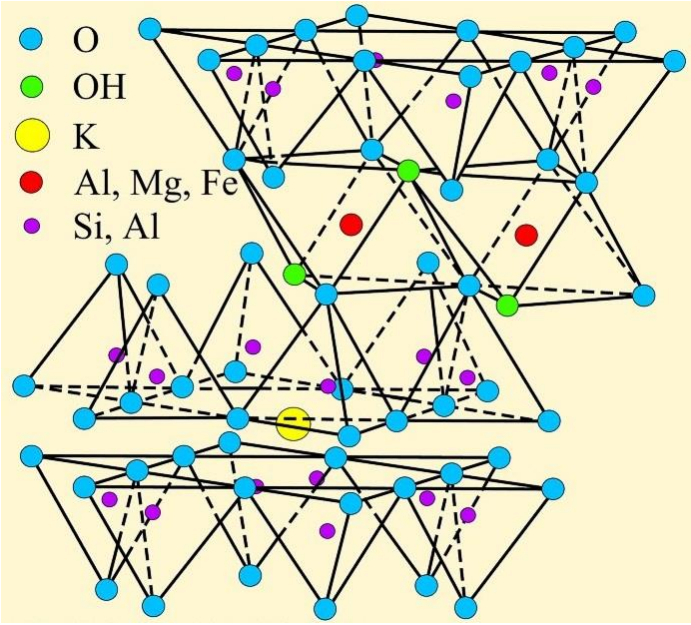
Minerale glina s tipom slojeva 2:1 i nabojem približno 1 predstavlja grupa pravih tinjaca. Zbog ionskih izmjena u tetraedarskom i oktaedarskom sloju negativan naboj nadoknađen je jednovalentnim bezvodnim međuslojnim kationima. Njihova periodičnost iznosi 10 Å (MOORE i RAYNOLDS, 1997).

U prave tinjce spadaju dioktaedarski muskovit [$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$] i trioktaedarski biotit [$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(F,OH)_2$] i oni se u pravilu ne smatraju mineralima glina u užem smislu jer se rjeđe javljaju u sitnozrnatoj frakciji već služe kao strukturni modeli za ostale minerale glina koji mogu nastati njihovim trošenjem poput smektita, vermikulita ili illita. Pojam

biotit koristi se za seriju trioktaedrskih tinjaca sastava između annita i flogopita te eastonita i siderofilita (RIEDER i sur., 1998).

Minerali koji predstavljaju skupinu tinjaca, a pojavljuju se unutar glinovite frakcije obično imaju slojeve 2:1 s nabojem manjim od 1 zbog manjka K uslijed trošenja. Najčešće su to illit i glaukonit koji pripadaju tinjcima s manjkom međuslojnih kationa (RIEDER i sur., 1998) čije su formule vrlo kompleksne zbog varijabilnog kemijskog sastava.

Illit (Slika 2.9.) se definira kao prijelazni oblik između muskovita i smektita (pirofilita) s većom zastupljenošću Si, Mg i vode te manjkom K i Al u odnosu na muskovit. Može se naći u raznim sredinama te nastaje nizom procesa poput trošenja muskovita, ilitizacijom minerala iz grupe smektita, pretaloživanjem, pedološkim ili dijagenetskim procesima, na primjer, u porama pješčenjaka (MOORE i RAYNOLDS, 1997).

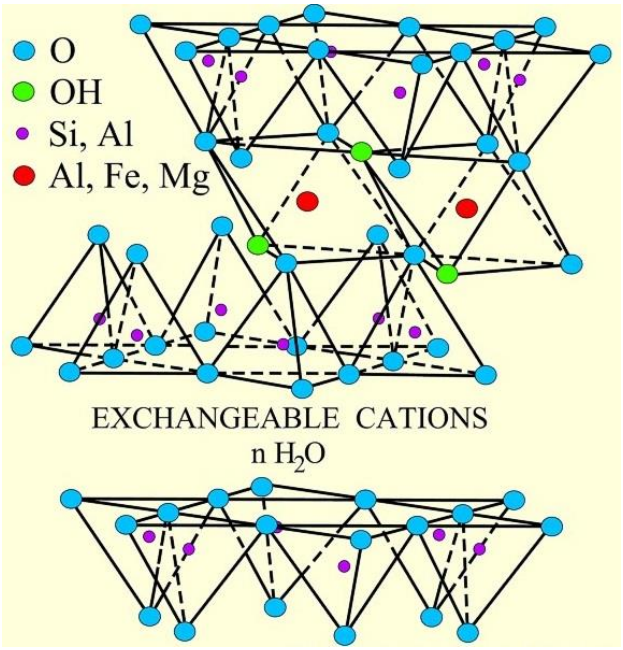


Slika 2.9. Struktura illita 2:1 gdje u tetraedarske slojeve ulaze kisik, silicij i aluminij, u oktaedarske kisik, OH skupina, aluminij, magnezij i željezo dok u međusloj između dva paketa sloja ulazi kation kalija; [2].

Glaukonit se razlikuje od illita po tome što posjeduje veći udio K i Fe. Lako se prepozna po svojoj karakterističnoj zelenoplavoj boji iako može doći i u zelenim i žutim nijansama (ODIN, 1988). Dolazi isključivo u marinskim okolišima (SMITH i HISCOT, 1987). af

Minerali iz grupe smektita također imaju troslojnu strukturu 2:1 (Slika 2.10.) s periodičnošću koja se može mijenjati zbog mogućnosti minerala ove grupe da apsorbiraju polarne molekule vode ili organske tvari u međusloj. Prilikom atmosferskih uvjeta smektiti će imati periodičnost najčešće na 14 Å dok će danjim tretiranjem etilen glikolom ona porasti i na oko 18 Å ovisno o izmjenjivom kationu.

Njihov naboj oscilira između 0,2 i 0,6 što uvjetuje veliki kapacitet izmjene međuslojnih kationa (Cation exchange capacity ili CEC), iako manju nego kod grupe vermikulita. Smektiti mogu biti dioktaedarski i trioktaedrski. U dioktaedrske pripadaju montmorilonit, beidellit i nontronit dok su trioktaedarski saponit i hectorit. Najčešće nastaju trošenjem kiselog vulkanskog pepela pri čemu nastaje glinovita stijena bentonit.

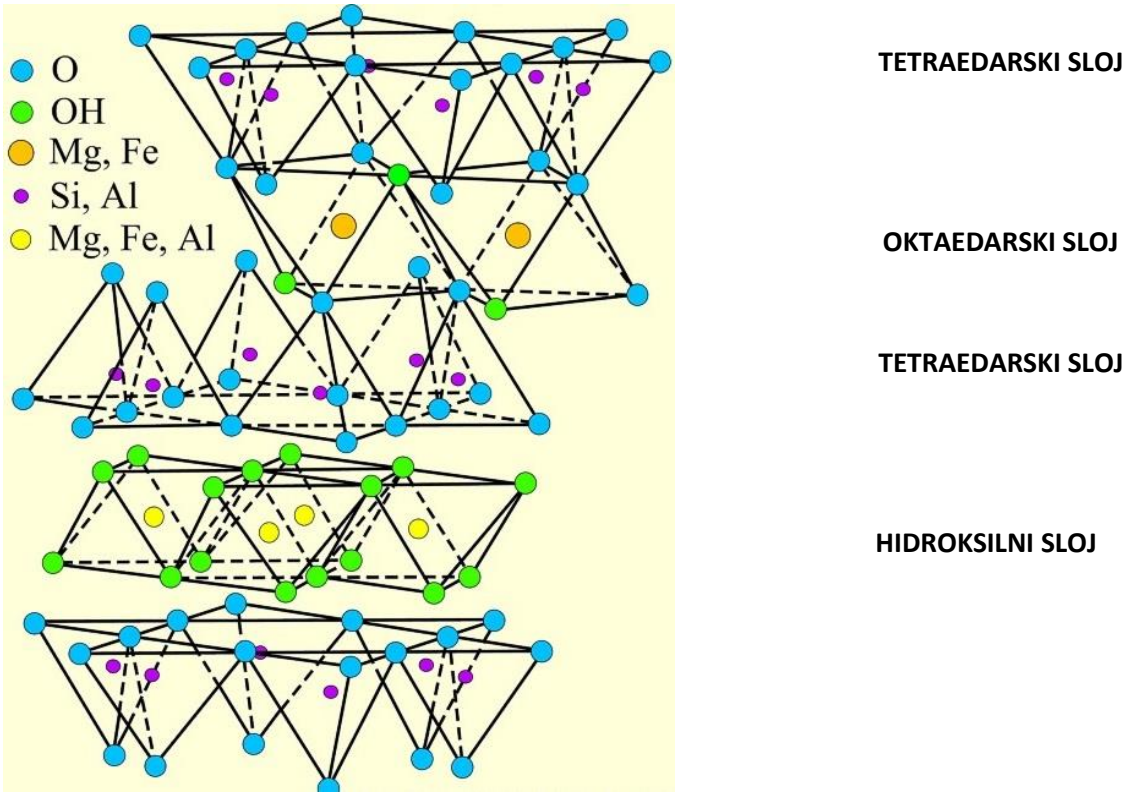


Slika 2.10. Struktura montmorilonita člana grupe smektita: vidljiv je tip paketa slojeva 2:1 s međuslojem u koji ulaze različiti izmjenjivi kationi uz vodu ili organske molekule. Unutar strukture tetraedara nalaze se atomi O, Al i Si, dok se u građi oktaedara mogu naći Si, OH skupina, O, Al, Mg i Fe. [3].

Članovi grupe vermikulita $[(Mg, Al, Fe^{2+})_3 (Si, Al)_4 O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O]$ imaju tip strukture 2:1, slično kao i kod smektita te predstavljaju minerale koji također imaju sposobnost bubrenja, ali je u međusloju najčešće hidratizirani Mg^{2+} kation. Osim Mg^{2+}, u strukturu mogu ulaziti i drugi kationi poput Na^{+} ili Ca^{2+}.

Naboj vermikulita varira između 0,6 i 0,9 te je nešto veći nego kod smektita, ali i dalje manji nego kod grupe pravih tinjaca. Uglavnom se javljaju trioktaedarski, ali unutar glinovite frakcije mogu doći i dioktaedarskivermikuliti. Zbog sličnih strukturnih svojstava ih je teško razlikovati od smektita, osobito od onih s većim nabojem.

Kao kod smektita i vermikulita, periodičnost grupe klorita duž osi c iznosi 14 Å sa slojevima 2:1 i promjenjivim negativnim nabojem. Između 2:1 paketa dolazi još jedan pozitivno nabijeni hidroksilni sloj te određeni mineralozi grupi klorita pripisuju strukturu tipa 2:1:1 (Slika 2.11.). Minerali ove skupine podijeljeni su na temelju dominantnog dvovalentnog kationa poput chamozita (Fe), nimita (Ni), klinoklora (Mg) ili pennantita (Mn). Dolazi u različitim geološkim sredinama procesima trošenja, ili u ranoj fazi metamorfoze zbog čega ih se često nalazi unutar zelenih škriljavaca kojima daju zelenu boju.



Slika 2.11. Prikaz sturkture klorita s 2:1 odnosno 2:1:1; tetraedarskim slojevima sastavljenih od atoma O, Si i nešto Al u sredini, oktaedarski slojevi građeni su od Mg i Fe atoma u centru s O i OH skupinama u vrhovima oktaedara te hidroksilni slojevi u kojima se kao središnji atomi mogu doći Fe, Mg i Al s OH skupinama u vrhovima oktaedra. [4].

Također, mogu se javiti i miješanoslojni (interstratificirani) minerali glina koji su prema FIORE i sur. (2013) definirani kao strukture u kojima se nalaze pomiješane strukturne jedinice više od jedne mineralne vrste minerala glina unutar jednog kristala. Izmjena može biti pravilna, kada nastaju nove mineralne vrste, ili nepravilna. Najčešće se javljaju illit-smektit, klorit-smektit i kaolinit-smektit.

Tip uređenja strukture interstratificiranih minerala glina opisuje termin *Reichweite* ili R (MOORE i RAYNOLDS, 1997 i ondje navedene reference) koji govori kakav je način slaganja slojeva određenih mineralnih vrsta unutar miješanoslojnih glina. *Reichweite* označava koja je vjerojatnost da iza sloja tipa A dolazi sloj tipa B, to jest koliko se slojeva tipa A nalazi između dva sloja tipa B. R0 označava da nema ograničenja da će iza sloja tipa A ponovno doći sloj A te se on upotrebljava kod neuređenih miješanoslojnih glina. S druge strane, R1 se koristi kod uređenih struktura i on govori da iza sloja tipa A nužno mora doći sloj tipa B, pa onda opet A i tako dalje. Takva faza se u tom slučaju smatra novim mineralom poput corrensita. Međutim, treba voditi računa o udjelu pojedinih faza jer iza sloja A neće doći sloj B ako ga je po udjelu značajno manje nego sloja A, tako da *Reichweite* treba kombinirati s masenim udjelom kako bi se odredio tip slaganja slojeva. Konačno, R može imati i vrijednost 3 koja označava da se između dva sloja tipa A nalazi tri sloja B.

2.3.3. Nastanak minerala glina

Upravo zbog velikog broja različitih procesa prilikom kojih mogu nastati, minerali glina zasigurno su jedni od najraširenijih i najčešćih skupina minerala. Jedan od glavnih procesa kojim mogu nastati jest alteracija primarnih minerala koji grade magmatske i metamorfne stijene. Naime, primarni minerali stabilni su u određenom rasponu temperature i tlaka unutar zemljine kore te njihovim izdizanjem na površinu pomoću raznih tektonskih pokreta oni postaju nestabilni te prelaze u sekundarne, glinovite faze. Novonastali sekundarni minerali produkt su aliteracije strukture primarnih minerala, gdje se zbog nestabilnih uvjeta tlaka i temperature stara kristalna rešetka raspada i formira nova, energetski stabilnija. Isto tako, glinoviti sedimenti mogu nastati dugotrajnim taloženjem u mirnoj sredini kao na primjer na oceanskom dnu gdje se njihove sitne čestice mogu lako raznositi daleko od obale. Osim toga tu su i turbiditni procesi, precipitacija iz otopine ili pak metamorfizam nižeg stupnja.

2.3.4. Svojstva minerala glina u inženjerskoj geologiji

Kao dva važna svojstva minerala glina u inženjerskoj geologiji izdvajaju se površinski naboj i specifična površina. Djelomičnom zamjenom Si^{4+} s Al^{3+} nastaje višak negativnog naboja u strukturi što omogućava ulazak drugih kationa kako bi izjednačili naboj u strukturi (SLOVENEC i BERMANEC, 2006). Do zamjene između silicija i aluminija dolazi zbog male razlike u ionskim radijusima (0,50 Å za aluminij i 0,40 Å za silicij). Kako velika većina minerala glina pripada u mineralni razred filosilikata kristali imaju listićav ili pločasti habitus te je njihova kalavost savršena po baznom pinakoidu {001} što predstavlja najslabiji dio strukture.

Minerali glina imaju vrlo veliku specifičnu površinu što im omogućava važno svojstvo, a to je mogućnost adsorpcije vode na njihovu površinu, što može u određenim uvjetima ozbiljnije narušiti inženjersku stabilnost tala. Osim adsorpcije, određeni minerali glina poput smektita (pogotovo montmorilonit) i vermikulita mogu vodu (i organske molekule) uklopiti unutar svoje strukture što dovodi do bubrenja ili ekspanzije. Samim tim prisutnost bubrećih glina u tlu može ugroziti čvrstoću istog i promijeniti njegova svojstva, naročito uslijed naglog i bujnog dotoka vode, bilo prirodno ili djelovanjem čovjeka. S povećanjem dubine taloženja postotak bubrećih glina se smanjuje zbog njihove nestabilnosti u takvim okolišima. Ekspanzija se javlja i unutar miješanoslojnih minerala glina koje sadrže bubreće minerale glina.

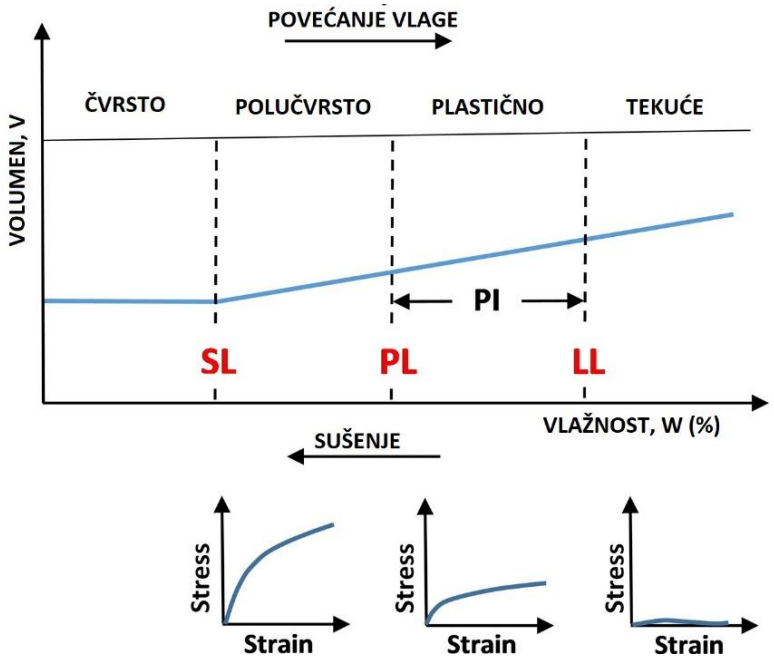
Prema definiciji Međunarodne organizacije za standarde ISO-14688-1:2002(E) tlo je skup naslaga mineralnih čestica i/ili organske tvari različite količine vode i zraka koje se mogu razdvojiti blagim mehaničkim djelovanjem. Kod sitnozrnatih tala (glinovitih stijena, prahovnjaka i muljnjaka) javlja se izraženija razlika u svojstvima materijala kao posljedica različite vlažnosti u tlu. Tla koja se sastoje od slijepljenih čestica, nevezano za to jesu li suha ili vlažna, zovu se koherentna tla i nastaju zbog privlačnih sila između čestica, točnije kohezije. Ona se smanjuje s povećanjem vlažnosti i udjela krupnozrnatih čestica. Kada je suh, koherentni materijal formira tvrde grude kojima oblik ne možemo mijenjati bez uporabe veće sile. S druge strane, nekoherentna tla mogu imati slijepljene čestice samo ako su vlažna. Sušenjem se raspadaju na hrpu rasutih zrna bez određena oblika (NONVEILLER, 1981).

Prisutnost vode u koherentnim tlima uvelike utječe na promjenu njihovih inženjerskih svojstava. Termin koji opisuje stanje kohezije materijala s obzirom na vlažnost zove se konzistencija. Vlažna sitnozrnata tla (prahovi i gline) pokazuju svojstvo plastičnosti. Plastičnost je svojstvo materijala da zadrži deformirani oblik nakon završetka deformacije, za razliku od

elastičnosti. Ovisno o postotku vlažnosti, sitnozrnata, koherentna tla mogu izrazito pokazivati svojstvo plastičnosti. Ako je vlažnost vrlo mala, tlo je u čvrstom stanju konzistencije i prilikom naprezanja lomi se krto. Prilikom povećanja vlažnosti, tlo prelazi u polučvrsto, zatim u plastično i na kraju u tekuće stanje pri čemu više nema čvrstoću na smicanje. Važno je naglasiti da se s povećanjem vlažnosti povećava i volumen tla.

Na temelju niza empirijskih istraživanja uzoraka koherentnih tala ATTERBERG (1911) postavlja granične vrijednosti vlažnosti tla pri kojima dolazi do promjene stanja konzistencije: granica tečenja (W_L), granica plastičnosti (W_P) i granica stezanja (W_S). Pri tom se čvrstoća materijala i postotak tekućine nalaze u obrnuto proporcionalnom odnosu. Svojstvo plastičnosti vrijedi za sve vrijednosti vlažnosti između granice tečenja i granice plastičnosti.

Granica tečenja (W_L) definira se kao najmanji postotak vlage pri kojem se tlo ponaša kao tekućina (NONVEILLER, 1981). Visoki udio vode rezultira smanjenom čvrstoćom. Smanjenjem postotka vlage dolazi do granice plastičnosti (W_P) koja označava najmanji udio vlage pri kojem se oblik mase ne mijenja bez nastajanja pukotina. Konačno, granica stezanja (W_S) predstavlja količinu vode pri kojoj se, daljnjim sušenjem, volumen materijala ne mijenja, ali mu raste čvrstoća (Slika 2.11.). Iz razlike između granice tečenja i granice plastičnosti može se izvesti indeks plastičnosti (I_p) koji označava raspon vrijednosti pri kojima se tlo ponaša plastično. Upravo zbog jednostavne odredbe, Atterbergove granice u kombinaciji s indeksom plastičnosti predstavljaju nezaobilazan parametar u inženjerskogeološkim istraživanjima jer se pomoću njih može relativno dobro procijeniti inženjersko ponašanje tla. Vrijednosti Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti ovise o količini glinovite frakcije i organske tvari u tlu. U teoriji, s povećanjem udjela glinovite komponente i/ili organske tvari linearno se povećavaju i vrijednosti Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti, međutim može se dogoditi da tla koja sadrže istu količinu glinovite komponente imaju različite vrijednosti granica tečenja, plastičnosti i indeksa plastičnosti, što upućuje na drugačiji mineralni sastav i prisutnost ili nedostatak bubrećih glina (MARTINČEVIĆ LAZAR, 2021 i ondje navedene reference).



Slika 2.12. Attebergove granice, SL- granica stezanja (shrinkage limit), PL- granica plastičnosti (plastic limit), LL- granica tečenja (liquid limit), PI- indeks plastičnosti (plasticty index); izvor: [5].

U svrhu grupiranja različitih vrsta s međusobno sličnim geomehaničkim svojstvima razvijene su razne geomehaničke klasifikacije tala. U praksi, najčešće se koriste jedinstvena klasifikacija tla (Unified Soil Classification System ili USCS) prema američkoj normi ASTM D 2487 ili britanska klasifikacija tla (British Soil Classification System ili BSCS) prema britanskoj normi BS 1377-2: 1990. Obje klasifikacije dijele vrste tla na skupine i podskupine dajući im oznake od dva slova. Prvo slovo označava skupinu, odnosno radi li se o šljunku (oznaka G), pijesku (oznaka S), prahu (oznaka M) ili glini (oznaka C). Podjela se radi na temelju zastupljenosti pojedinih frakcija unutar granulometrijskog sastava. Drugo slovo označava podgrupu, sitnozrnata tla dijele se na nisko i visokoplastična, ovisno je li iznos granice tečenja (W_L) veći ili manji od 50%. Ako je iznos granice tečenja manji od 50% radi se o niskoplastičnim tlima (dodaje se drugo slovo L- low plasticty), a ako je veći od 50% riječ je o visokoplastičnim tlima (za drugu oznaku dodaje se slovo H- high plasticity). Kod ESCS klasifikacije postoji i termin srednjeplastično tlo koje označava tla s granicom tečenja između 35% i 50% (druga oznaka I- intermediate plasticity).

Također, granice tečenja i plastičnosti određenih minerala glina ovise o više raznih karakteristika poput veličine zrna, kemizmu minerala (tip kationa koji ulaze u strukturu),

stupnju kristaliniteta (uređenosti strukture) i sastavu međusloja. WHITE (1949) ukazuje kako se smanjenjem veličine čestica glinovitih materijala povećavaju Atterbergove granice. Kod granice tečenja najvišu vrijednost imaju dioktaedarskismektiti poput montmorilonita nakon čega slijede illit i kaolinit.

Za granicu plastičnosti i indeks plastičnosti situacija je vrlo slična, te kaolinit i ovdje ima najmanju vrijednost, a ona se povećava za illit i najviša je za smektite. Međutim, unutar grupe smektita postoje razne oscilacije ovisno o međuslojnim kationima (WHITE, 1949).

2.4. Utjecaj trošenja i minerala glina na fizičko-mehanička svojstva i pojavu klizišta

Kao jedna od češćih i ponekad vrlo razornih geomorfoloških pojava, klizišta su predmet proučavanja mnogih istraživača već dugi niz godina. Klizanje predstavlja kretanje mase stijena ili tla niz padinu, uključujući i sve ostale pokrete na padini. Mogu biti povezana i s ostalim, istovremenim, katastrofalnim događajima poput bujica, poplavama, potresima ili erozijom tla. Većinom nastaju u sitnozrnatim, koherentnim stijenama niske čvrstoće koje mogu biti lako alterirane. Stoga, vrlo je važno dugotrajno pratiti promjene koje mogu smanjiti stabilnost padine i dovesti do klizanja ili odronjavanja.

Tlo (stijene) u području kosine bit će u ravnoteži ako je posmična čvrstoća materijala veća od sila posmičnog naprezanja. Ovaj se odnos može izraziti kroz faktor sigurnosti (F) koji je omjer između posmične čvrstoće materijala i posmičnih naprezanja po pretpostavljenoj ili određenoj plohi sloma na padini. Ako je faktor sigurnosti manji ili jednak 1 padina je nestabilna, a ako je veći od 1 padina je kratkoročno stabilna. Kada padina postane nesigurna i materijal krene kliziti, zaustavit će se tek kad se oblik padine promjeni toliko da se naprezanja vrate u ravnotežu ili ako prestanu djelovati utjecaji koji su izazvali pokretanje mase poput smanjenja ili podizanja razine podzemne vode, obilne padaline, smrzavanje tla i slično. Faktori koji dovode do klizanja mogu se podijeliti u dvije skupine: preduvjeti klizanja koji padinu čine nestabilnom, ali ne dovode do klizanja poput geomorfoloških i fizičkih procesa /ili antropogenih utjecaja, te inicijatori klizanja koji padinu dovode iz stanja granične ravnoteže u aktivno nestabilno stanje. Najčešći inicijatori klizanja su oborine, potresi, rudarski ili građevinski radovi, erozija podnožja padine, promjena razine vode u akumulaciji, topljenje snijega i tako dalje (*MIHALIĆ*, 2007).

Odnos između posmične čvrstoće koherentnih materijala na padini i posmičnih deformacija vrlo je složen zbog promjene volumena u zoni deformacije prilikom promjene stanja naprezanja čime se mijenja i porni tlak. Uočljivo je da način ispitivanja koherentnih tala i metoda računanja stabilnosti kosina snažno ovise o osobinama i vrsti glinovitih materijala. (NONVEILLER, 1981).

Da bi ih sistematizirao, TERZAGHI (1936) glinovite stijene klasificira prema stupnju (indeksu) konzistencije na četiri grupe: mekana raspucala glina, mekana neporemećena glina, čvrsta neporemećena glina, čvrsta raspucala glina. Mekana raspucala glina daje najmanji indeks konzistencije, dok čvrsta raspucala glina ima najveću vrijednost za ranije spomenutu veličinu. Visoka čvrstoća glina uvjetovana je jakim privlačnim silama između minerala glina te su vrijednosti čvrstoće slične kao i za meke stijene poput šejlova, ili lapora (NONVEILLER, 1981).

Trošenje koherentnih tala, općenito, može se podijeliti na fizičko, kada nema promjene mineralnog sastava i kemijsko, koje nastupa kasnije, kada minerali alteriraju u sekundarne minerale. Svojstva glinovitih stijena i njihovo ponašanje tijekom izlaganja atmosferskim (vanjskim) utjecajima najviše ovisi o mineralnom sastavu, prijašnjim deformacijama i karakteristikama veziva.

MIŠČEVIĆ i VLASTELICA (2014) proučavajući lapore s klizišta u okolici Splita dolaze do zaključka kako kemijsko trošenje ima puno manji utjecaj na stabilnost padine nego fizičko. Vrlo bitnu ulogu u promjeni svojstava glinovitih materijala ima voda, posebno kada je riječ o ekspandirajućim mineralima. Visok udio smektita unutar proučavanih lapora upućuje na mogućnost smanjenja čvrstoće uslijed bubrenja. Prema njihovom istraživanju, procesi trošenja u blizini pukotina, ili u njima imaju velik značaj za smanjenje čvrstoće materijala, a time i stabilnosti. Samo klizanje može se dogoditi na bilo kojem setu pukotina te ih sve treba jednako uzeti u obzir. Također, i ovdje voda igra bitnu ulogu jer može prodrijeti unutar pukotina i promijeniti porni tlak čime se povećava rizik od klizanja. Uz to unutar raspuklina može doći do kristalizacije gipsa koji ih proširuje i narušava ravnotežu. Ako se uz lapor pojavio sloj čvršće stijene, npr. pješčenjak, trošenje je očekivano jače zahvatilo mekše naslage te su one otklizale, ostavljajući viseći sloj pješčenjaka koji predstavlja sigurnosni problem.

Do sličnog su zaključka došli BHATTARI i sur. (2006) analizirajući karakteristike neogenskih muljnjaka na području Japana, koji su bili zahvaćeni klizanjem. Narušavanje stabilnosti kliznih padina je najizraženije na dubinama gdje dolazi do fluktuacije podzemne

vode. U dubljim dijelovima ono je puno manje. Kemijski sastav površinskih muljnjaka bitno se razlikovao od onih na većim dubinama što upućuje na utjecaj kemijskog trošenja.

U svojoj doktorskoj disertaciji MARTINČEVIĆ LAZAR (2021) opisuje utjecaj minerala glina na fizička svojstva sitnozrnatih sedimenata podsljemenske zone grada Zagreba. Od svojstava sitnozrnatih sedimenata opisane su granice tečenja, granice plastičnosti, kapacitet kationske izmjene, specifična površina minerala i granulometrijski sastav. Njeno istraživanje obuhvatilo je pliokvartarne i gornjomiocenske sitnozrnate sedimente te je utvrđeno kako se međusobno razlikuju prema sastavu i zastupljenosti određenih minerala glina. Primjerice, vermikulit, koji nastaje u okolišima intenzivnog trošenja, dominantno je zastupljen u pliokvartarnim naslagama dok ga se u gornjomiocenskim javlja vrlo rijetko u malim udjelima te je u njima glavna bubreća komponenta mineral smektit. Smektit je u ovim naslagama istaložen iz suspenzije kao detritični ostatak, ili može nastati kao produkt trošenja feldspata. Mineral klorit zastupljen je u gornjomiocenskim sedimentima u velikom udjelu dok u pliokvartarnim naslagama se ne javlja. Dobiveni rezultati pokazali su da gornjomiocenske naslage, pokazuju veće vrijednosti granica tečenja i plastičnosti i specifične površine, dok pliokvartarne naslage imaju veće vrijednosti kapaciteta kationske izmjene (CEC). Prema diskriminantnim statističkim modelima utvrđene su jasne razlike između mineralnog sastava i fizičkih svojstava ovisno o relativnoj starosti i geomehaničkoj klasifikaciji tla.

Nadalje, u istom radu, autorica opisuje utjecaj pojedinih minerala glina na fizička svojstva pliokvatarnih i gornjomiocenskih naslaga. Ispostavilo se da najveći utjecaj na fizičke karakteristike pliokvartanih naslaga ima bubreći mineral vermikulit o kojem ovisi plastičnost tla. Udio vermikulita pokazuje negativnu korelaciju s granicom tečenja, indeksom plastičnosti i specifičnom površinom. U visokoplastičnim glinama pliokvartara vermikulit ima utjecaj na granicu plastičnosti, dok u niskoplastičnim glinama i prahovima ima utjecaj na vrijednosti granica tečenja i indeksa plastičnosti. Utjecaj vermikulita na specifičnu površinu mineral u glinama visoke plastičnosti nije utvrđen. Također, osim bubrećih faza, velik utjecaj na fizička svojstva imaju i neekspandibilni minerali glina, najviše kaolinit koji ukazuje na snažan utjecaj na granicu tečenja, granicu plastičnosti i na vrijednost specifične površine. Kaolinit ima velik utjecaj na fizička svojstva i u naslagama gornjeg miocena dok smektit ne pokazuje izravan utjecaj na granicu tečenja, granicu plastičnosti i specifičnu površinu već preko kapaciteta kationske izmjene djeluje na njihovo povećanje. Klorit najviše utječe na vrijednosti specifične površine zbog svojih malih dimenzija individua.

3. Materijali i metode

3.1. Terensko uzorkovanje

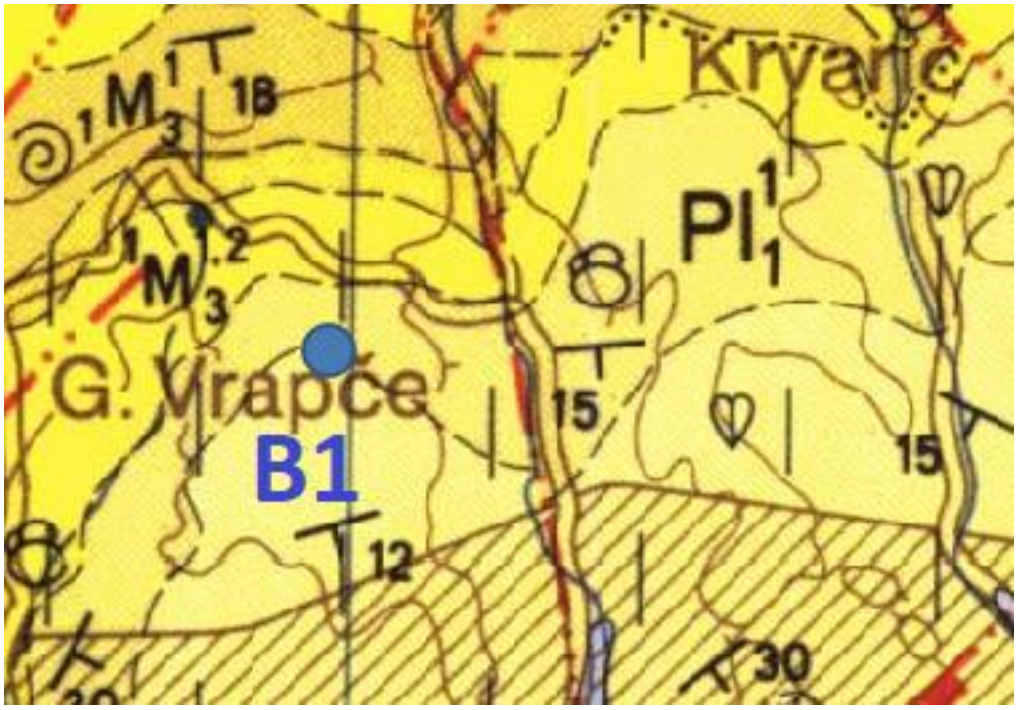
Istražno područje obuhvaća sjeverni dio ulice Perjavica, kod kućnog broja 122. Na Slici 3.1. vidljiva je lokacija istražnog područja na karti grada Zagreba. Geografski ono se nalazi u sjeverozapadnom djelu grada Zagreba, na južnim obroncima Medvednice. Administrativno, istražno područje pripada gradskoj četvrti Podsused-Vrapče. Tvrtka Geokon d.o.o. je za svoje potrebe izvršila istražno bušenje radi izrade geotehničkog elaborata o pojavi klizišta na tom području.

Odabrane lokacije za bušenje nalazile su se na samoj cesti i na obližnjoj padini koja se pruža sa zapadne strane ulice. Ukupno je izbušeno 8 bušotina, od kojih smo uzorkovali jezgre iz njih 5. Dubina pojedine bušotine iznosila je 15 metara. Zbog vrlo sličnih, jednoličnih sljedova naslaga uzorci su uzeti iz samo jedne bušotine B1 (Slika 3.2.) s koordinatama 45.8342° sjeverne geografske širine i 15.8994° istočne geografske dužine jer su u njoj, uz stijene prisutne i u ostalim bušotinama, nabušene i one s pojavom laminacija i značajnijom raspucanošću u određenim dijelovima.

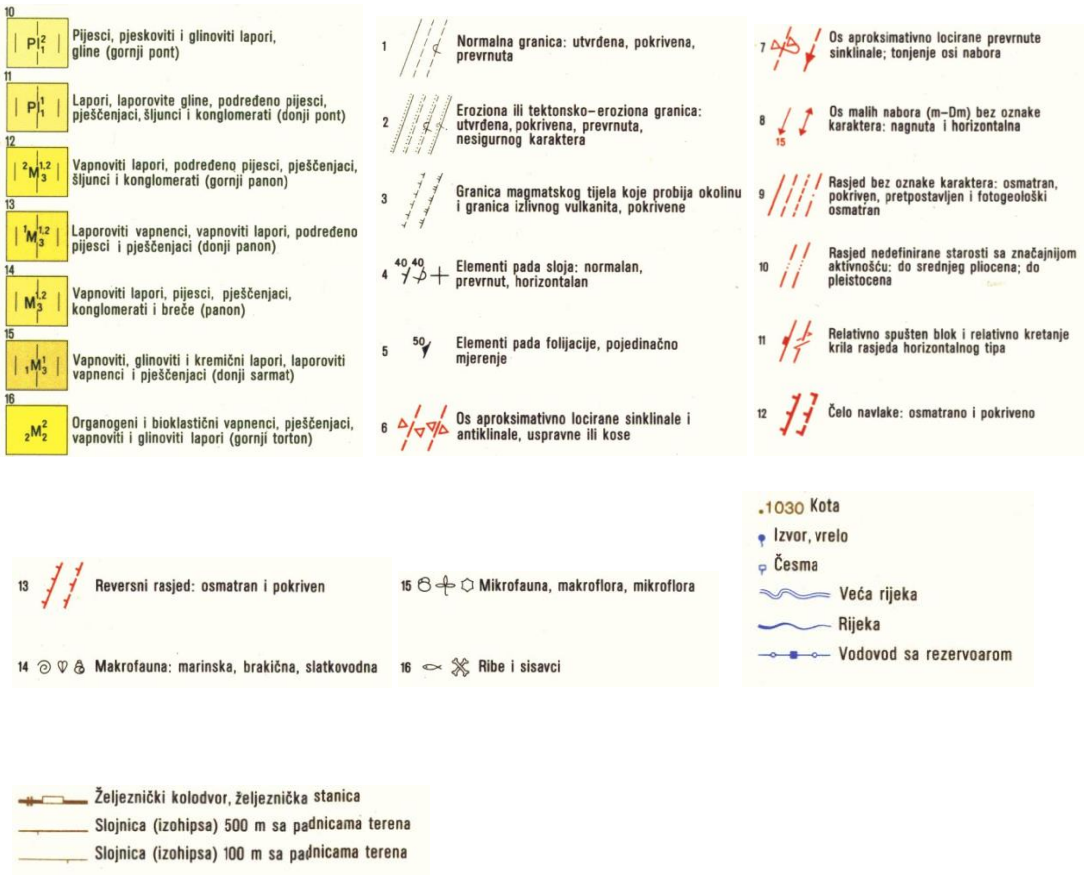
Položaj bušotine B1 na geološkoj karti prikazano je na Slici 3.2. Nadalje, Slika 3.3. apostrofira projekciju spomenute istražne bušotine na inženjerskogeološkoj karti uz Tablicu 1. gdje su objašnjeni simboli s karte. U Tablici 2. prikazan je popis uzoraka i njihov terenski opis.

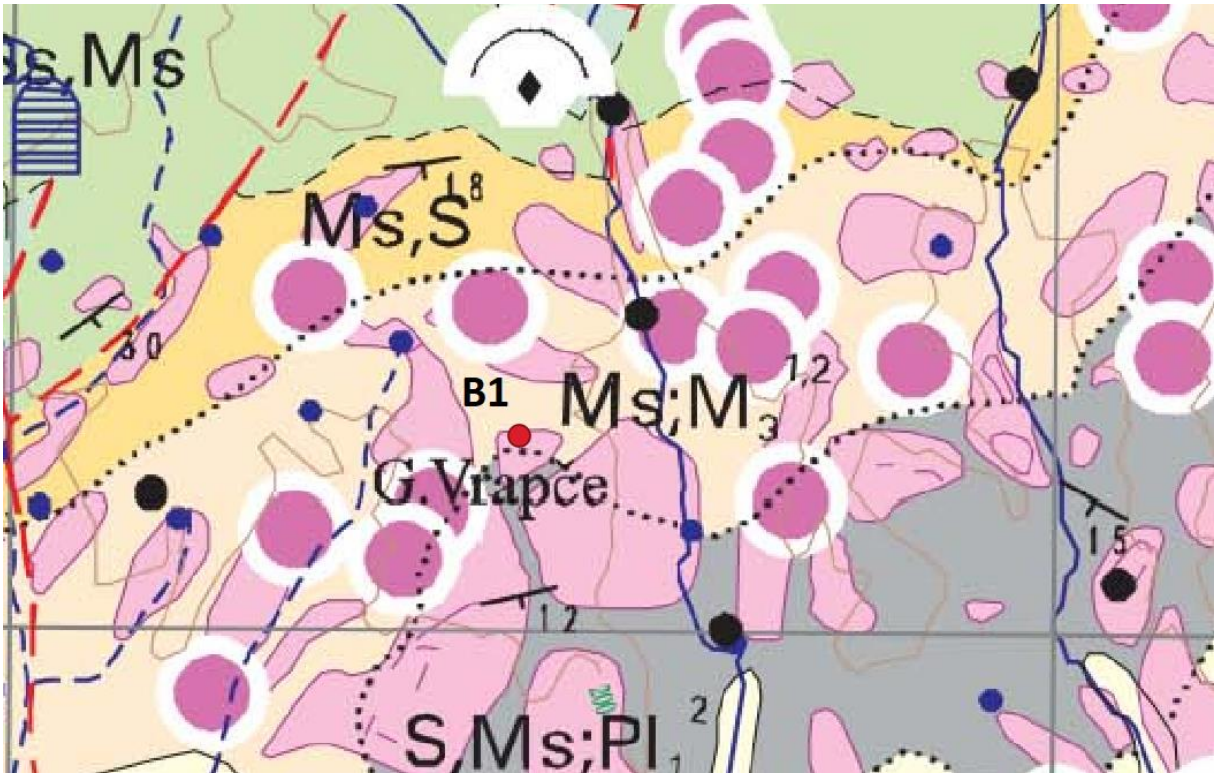


Slika 3.1. Lokacija klizišta na karti grada Zagreba.



Slika 3.2. Isječak iz osnovne geološke karte SFRJ list Zagreb mjerila 1:100 000 uz pripadajući tumač simbola. Točkom i oznakom B1 prikazana je bušotina iz koje su uzeti uzorci (modificirano prema ŠIKIĆ i sur., 1977). Prema novoj stratigrafskoj podjeli (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018) najmlađi pliocen, na karti prikazan simbolom Pl_1^1 , danas se svrstava u najgornji miocen.





Slika 3.3. položaja istražne bušotine B1 (prikazana crvenom točkom) s klizišta Perjavica na isječku osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske mjerila 1:100 000, list Zagreb. Vidljivo je da se istražno područje nalazi na nestabilnoj padini većoj od 1 ha s pojavom klizanja. (modificirano prema MIKLIN i ŠIKIĆ, 1997).

Nestabilne padine površine <1 ha (klizanje)

Istražna bušotina korištena prilikom izrade karte

Nestabilne padine površine >1 ha (klizanje)

Normalna litostratigrafska granica

Položaj sloja (kos, vodoravan)

Postepen prijelaz

Ležište gline

Pretpostavljen rasjed

Ležište kamena

Voda, stalna voda

Stalan izvor

Rijeka, širine 5-10 m

Potok

Jaruga,povremeni tok

Manja jama

Manja špilja

Tablica 1. Izdvojeni stijenski kompleksi prisutni na karti sa Slike 3.3. i njihove karakteristike prema MIKLIN i ŠIKIĆ (1997). Opis simbola: S- pijesci, Ms- prahovnjaci, lapori, Ls- vapnenci, Ss- pješčenjaci, Br- breče, Cg- konglomerati, Dl- dolomiti; C-glina, G- šljunak.

Boja	Opis stijenskog kompleksa	Litološko-inženjersko-geološka oznaka	Starost
	Pijesci, lapori	S, Ms	Donji pliocen (P_1^2)
	Lapori, laporci, laporoviti pijesci	Ms	Gornji miocen-donji pliocen (M_3^{12}-P_1^1)
	Lapori, pijesci	Ms,S	Gornji miocen ($_lM_3^1$)
	Vapnenci, pješčenjački lapor	Ls,Ss,Ms	Srednji miocen ($_2M^2$)
	Breče, konglomerati, vapnenci	Br,Cg,Ls	Pliocen (Pc)
	Dolomiti, vapnenci	Dl, Ls	Srednji trijas (T_2)
	Gline	C	Pliokvartar (PlQ)
	Gline i šljunak	C,G	Pliokvartar (PlQ)

Tablica 2. Popis uzoraka i terenska zapažanja prilikom uzorkovanja na bušotini B1.

Redni broj uzorka	Terenska oznaka uzorka	Laboratorijska oznaka uzorka	Tip uzorka	Dubina uzorkovanja od [m]	Dubina uzorkovanja do [m]	Reagira s HCl	Terenski opis
1	B1-1,5-1,7	DP-1	Poremećen (prisutnost uklopaka)	1,50	1,70	Da	Sitnozrnati, prahoviti, smećkasti uzorak s uklopcima različite veličine iz gornjeg, asfaltnog sloja,
2	B1-2,8-3,0	DP-2	Neporemećen	2,80	3,00	Da	Laporoviti, prahoviti uzorak na kojem su prisutni subhorizontalni proslojci, ponegdje se može naći kršje školjkaša,
3	B1-4,4-4,6	DP-3	Neporemećen	4,40	4,60	Da	Sivi, laporoviti uzorak tamniji od prijašnjih,
4	B1-7,4-7,5	DP-4	Neporemećen	7,40	7,50	Da	Uzorak pokazuje centimetarsku izmjenu smeđih i sivih lamina, prijelaz u sive, sitnozrnate lapore,
5	B1-8,9-9,0	DP-5	Neporemećen	8,90	9,00	Da	lapori s prisutnim subhorizontalnim proslojcima, deblji su smeđi slojevi,
6	B1-9,6-9,8	DP-6	Neporemećen	9,60	9,80	Da	Sivi, tamni lapori, zastupljeni su dijelovi s većom količinom organske komponente,
7	B1-11,7-12,0	DP-7	Neporemećen	11,70	12,00	Da	Masivni, sivi, sitnozrnati lapori,
8	B1-14,5-14,7	DP-8	Neporemećen	14,50	14,70	Da	Sivi, masivni lapori, prisutni organski proslojci,

Bušenja su provedena u intervalima po pet metara nakon čega bi se jezgre odložile u drvenu kutiju s metarskim pregradama (Slike 3.4., 3.5., 3.6.) koje su označavale različite dubine. Zatim bi se dogovoreni dio jezgre uzorkovao nožem ili lopaticom s drvenom drškom i pohranio u plastičnoj vrećici s terenskom oznakom. Ukupno je uzorkovano osam uzoraka jezgri s različitih dubina. Terenske oznake uzoraka, dubina uzorkovanja, tip uzorka, terenski opis i ostali podaci prikazani su u Tablici 2.

Prvi interval (Slika 3.4.) do pet metara dubine započinje s antropogenim, asfaltnim slojem, a nakon 1,5 metara započinju razlomljeni, smeđi, siltozni lapori koji burno reagiraju s HCl. Kraj intervala karakteriziran je prvom pojavom proslojavanja svjetlijih, smeđih i tamnijih sivih lapora što će se nastaviti i u drugom intervalu (Slika 3.5.).



Slika 3.4. Jezgre prvog intervala bušenja od 0 do 5 metara. Brojevi na bijeloj podlozi predstavljaju dubinu uzorkovanja u metrima [m].

Drugi interval započinje sa smeđim, laporovitim naslagama masivne građe, dok se centimetarski proslojci sivih masivnih lapora ponovno javljaju tek na dubini od 6,7 metara (Slika 3.5.). Prvobitno su tanji, postavljeni vertikalno, kasnije u dubljim dijelovima postaju deblji i skoro pa horizontalne orijentacije. Unutar ovog intervala između 6. i 7. metra

zabilježena je pojava podzemne vode. Između 6. i 9. metra (Slika 3.5., Slika 3.7.) jezgra je razlomljena, osobito u intervalima između 7. i 8. metra koji su na Slici 3.5. označeni crvenom bojom. Na dubini od devet metara započinju tamni, masivni, sivi lapori koji se ujednačeno nastavljaju u posljednji interval (Slika 3.6.) uz centimetarsku pojavu tamnijih dijelova bogatijih organskom tvari.



Slika 3.5. Prikaz jezgri iz drugog intervala između 5 i 11 metara. Brojevi predstavljaju dubinu uzorkovanja u metrima [m] dok crveni pravokutnici označavaju razlomljene intervale između 7. i 8. metra.



Slika 3.6. Bušotinske jezgre iz trećeg intervala između 11 i 15 metara. Brojevi predstavljaju dubinu uzorkovanja u metrima [m].



Slika 3.7. Proslojavanje svjetlijih smećkastih i tamnijih sivih slojeva u drugom intervalu između 6. i 7. metra. Donji dio predstavlja interval razlomljene jezgre oko 8. metra. Dimenzije markera: 14,5 cm x 1 cm.

3.2. Metoda rendgenske difrakcije

Rendgenske ili X zrake predstavljaju elektromagnetsko zračenje valne duljine između 0,1 i 100 angstrema. U radu s rendgenskim metodama uzorak se iz izvora zračenja obasja rendgenskim zrakama kako bi se u njemu pobudile željene pojave i zabilježile na detektoru. Ovisno o metodi i o tome što istražujemo koriste se razni načini nastanka i izvori rendgenskog zračenja.

X zrake mogu nastati elektronskim prijelazima između vanjskih i unutarnjih ljuski (orbitala) unutar atoma, usporavanjem elektrona visoke brzine (energije) ili ih mogu emitirati čestice s brzinama bliskim brzinama svjetlosti. Kod rendgenskih metoda koriste se sva tri nastanka zračenja, a najčešće se koriste elektronski prijelazi pri čemu dolazi do pojave karakterističnog zračenja. Ono nastaje kada se u unutarnjoj orbitali određenog elementa pojavi vakancija koju, radi ponovnog postizanja stabilnosti unutar atoma, popunjavaju elektroni iz vanjskih ljusaka. Tim procesom oslobađa se energija u obliku karakterističnog ili fluorescentnog zračenja.

Izvori rendgenskog zračenja mogu biti sinhotroni, radioaktivni izotopi ili rendgenske cijevi koje su najdulje u uporabi te se tako i najčešće koriste. Prema načinu konstruiranja mogu se podijeliti na klasične rendgenske cijevi, cijevi s reversnim potencijalom i cijevi s rotirajućom anodom. Klasična rendgenska cijev sastoji se od volframske niti kroz koju se pušta električna struja, mete gdje dolazi do sudaranja elektrona i stvaranja rendgenskog zračenja, sistema za hlađenje pošto se dio oslobođene energije pretvara u toplinu, prozorčića koji se nalaze s bočne strane cijevi, metalnog oklopa i staklenog balona.

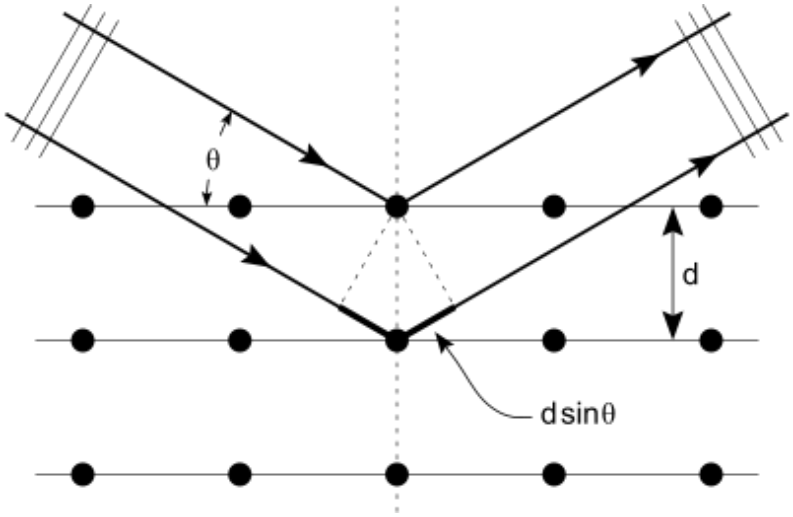
Metoda rendgenske difrakcije temelji se na difrakciji ili ogibu koja nastaje kao rezultat raspršenja rendgenskih zraka na elektronima unutar atoma određenog kemijskog elementa. Vrlo je važna i uloga interferencije valova rendgenskog zračenja kada dolazi do pojačavanja intenziteta zračenja zbog toga što su valovi međusobno u fazi.

BRAGG i BRAGG (1913) u svojem radu matematički dokazuju uvjete koji moraju biti zadovoljeni kako bi na određenoj mrežnoj ravnini kristala došlo do difrakcije i definiraju Braggov zakon (Slika 3.8.). Do difrakcije će doći ako je za rendgensko zračenje određene valne duljine λ koje na uzorak pada pod kutom θ na mrežne ravnine s Millerovim indeksima hkl međusobno razmaknute za međumrežni razmak d_{hkl} zadovoljen uvjet $\mathbf{n\lambda=2d_{hkl}sin(\theta)}$ gdje n predstavlja cijeli prirodni broj i govori o kojem se redu difrakcijskih maksimuma radi. Za

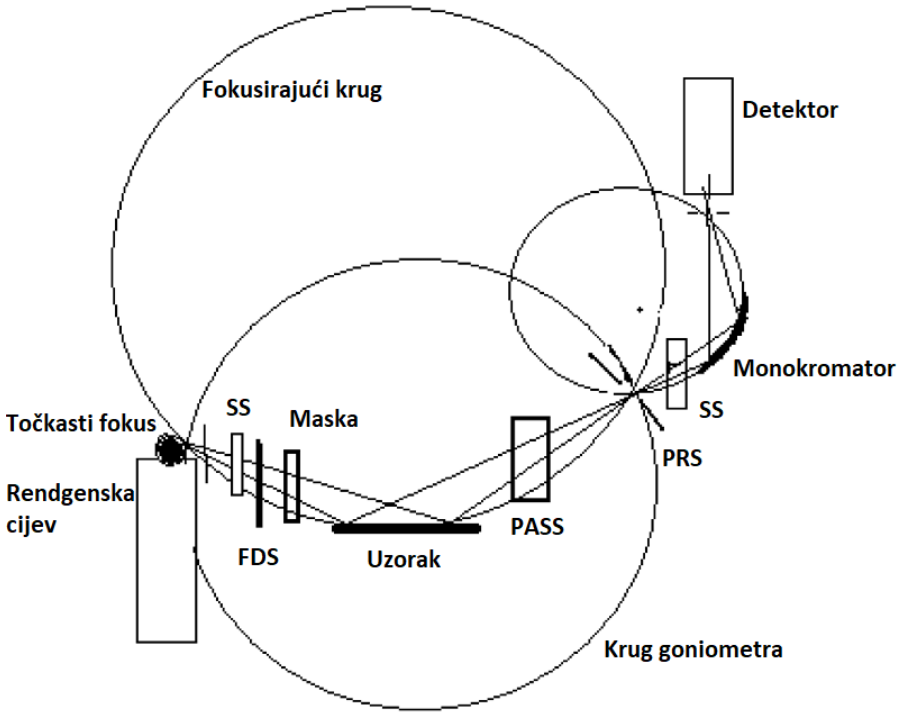
maksimume s ravnine hkl indeksa (001) n će iznositi 1, s ravnine hkl indeksa (002) biti će 2 i tako dalje.

Prema vrsti uzorka koji koristimo difrakcijske tehnike dijele se na metode monokristala i metodu praha. Kod prve metode uzorak je monokristal koji se rotira za vrijeme snimanja kako bi se mrežne ravnine u njemu našle u položaju difrakcije dok se kod metode praha uzorak sastoji od niza nasumično orijentiranih čestica pravilne unutarnje građe. Za vrijeme snimanja metodom praha mijenja se kut pod kojim rendgensko zračenje obasjava uzorak, a detektor očitava promjene intenziteta difraktiranog zračenja.

Osim prema vrsti uzorka, difrakcijske tehnike mogu se podijeliti i prema geometriji, odnosno načinu snimanja uzorka. Slika 3.9. prikazuje Bragg-Brentano (BB) parafokusirajuću geometriju snimanja uzorka uz pripadajuću opremu na difraktometru za prah. Bragg-Brentano geometrija snimanja koristi se na većini difraktometra za snimanje praha zbog svoje visoke rezolucije i mogućnosti analize pri visokom intenzitetu rendgenskog zračenja što dovodi do toga da su efekti na uzorku izraženiji i bolje se registriraju.



Slika 3.8. Pojednostavljeni prikaz Braggovog zakona; d- međumrežni razmak, θ- Braggov kut difrakcije, internetski izvor: By Hydrargyrum - Own work, CC BY-SA 3.0, [6].



Slika 3.9. Bragg-Brentano (BB) parafokusirajuća geometrija snimanja uzorka uz pripadajuću opremu na difraktometru za prah; značenje kratica na slici i njihov engleski prijevodi: SS-Sollerove pukotine (Soller Silts), FDS-divergentna pukotina (Fixed Divergence Silt), PASS- pukotina za spriječavanje raspršenja (Programmable Anti-Scattering Silt), PRS- ulazna pukotina (Programmable Recieving Silt); modificirano prema MALLICK, (2015).

Na Slici 3.10. kao izvor rendgenskog zračenja koristi se rendgenska cijev s točkastim fokusom. Fokus može biti točkasti ili linijski ovisno tome želimo li širi (linijski) ili uži (točkasti) snop. Zračenje potom prolazi kroz Sollerove pukotine koje predstavljaju set tanko razmaknutih metalnih folija pomoću kojih se uklanja rasipanje snopa, odnosno osna divergencija. Važan je izbor dimenzija Sollerovih pukotina jer ako su one preuske doći će do gubitka intenziteta, a ako su preširoke rezolucija će biti slabija. Nakon toga, zračenje prolazi kroz pukotinu za divergenciju koja regulira koliku će površinu na uzorku obasjati snop rendgenskog zračenja. Cilj je obasjati cijeli uzorak, ali ne i nosač što može dovesti do povećanja šuma, odnosno pojave neželjenih maksimuma na difraktogramu. Divergentna pukotina može biti promjenjiva ili fiksna kao što je slučaj na Slici 3.9. U kombinaciji s divergentnom pukotinom koristiti se i maska koja određuje širina snopa zračenja. Maska ne smije biti preuska jer zračenje neće obasjati cijeli uzorak, ali ne smije biti ni preširoka zbog istih posljedica kao i kod pukotine za divergenciju.

Kada rengenske zrake prođu kroz sve gore nabrojane setove pukotina one obasjaju uzorak te difraktirano zračenje prolazi kroz još jedan set različitih pukotina prije nego što se zabilježi na detektoru. Prvo, prolazi kroz pukotinu za sprječavanje raspršenja koja smanjuje šum, a zatim kroz ulaznu pukotinu koja kontrolira rezoluciju difrakcijskih maksimuma na difraktogramu. Ako bi ulazna pukotina bila preuska došlo bi do gubitka intenziteta, a ako bi bila preširoka smanjila bi se rezolucija maksimuma, slično kao i kod Sollerovih pukotina. Nakon ulazne pukotine, difraktirano zračenje ponovno prolazi kroz set Sollerovih pukotina, a potom kroz monokromator koji, kao što im i samo ime kaže, izdvaja zračenja jedne ili više bliskih valnih duljina radi dobivanja što jednostavnijeg difraktorgrama. Najčešće se koriste β-filteri, koji rade po principu selektivne apsorpcije zračenja neželjene valne duljine, kristali monokromatori, koji koriste princip Braggovog zakona i Amplitudni diskriminatori pomoću kojih se ne dobiva monokromatizirano zračenje već se kod obrade električnih impulsa u detektoru izdvajaju zračenja određene valne duljine, odnosno energije. Konačno, difraktirano zračenje dolazi do detektora koji se dijele na filmove ili brojače. Filmske tehnike baziraju se na zacrnjivanju filma zračenjem dok se pomoću brojača fotoni rendgenskog zračenja pretvaraju u električne impulse koji se kasnije iscrtavaju u obliku rendgenograma.

Kod Bragg-Brentano geometrije snimanja uzorci moraju biti vrlo pažljivo i precizno pripremani po posebnim pravilima kako bi analiza bila uspješna. Najčešći problemi koji se javljaju prilikom snimanja praha su ravni uzorci jer oni odudaraju od idealne geometrije snimanja, stoga rendgenske zrake neće obasjati cijeli uzorak, tanki ili prozirni uzorci što dovodi do pomaka u žarišnoj ravnini i krivih pozicija difraktiranih maksimuma na redngenogramu, te na kraju uzorci moraju prije snimanja biti pravilno drobljeni kako bi se sačuvala njihova pravilna unutarnja građa. Postoje dva načina snimanja ovom metodom: θ-θ geometrija gdje je uzorak učvršćen u horizontalnom položaju, a detektor i rendgenska cijev se rotiraju oko njega istom brzinom od 1θ po minuti i θ-2θ geometrija gdje rendgenska cijev miruje, dok se uzorak rotira brzinom od 1θ po minuti, a detektor brzinom 2θ po minuti. Važno je naglasiti kako se kod θ-2θ geometrije detektor uvijek nalazi u položaju u kojem je moguće registrirati difraktirano zračenje.

Intenzitet zračenja difraktiranog s mrežne ravnine hkl ovisi o mnogim čimbenicima, a među najvažnijim su mineralni sastav, svojstva kristalne strukture, priprema samog uzorka, količina minerala u smjesi i s čije je mrežne ravnine zračenje difraktirano. U radu s difrakcijskim metodama u pravilu se koriste relativni intenziteti, odnosno uspoređuju se intenziteti pojedinih difrakcijskih maksimuma na difraktogramu. Izražavaju se opisno ili

brojčano, a kod njihovog određivanja zbog jednostavnosti se najčešće mjere njihove visine na difraktogramu, gdje se najviši maksimum kao najjači označava sa 100 i ostali se dalje uspoređuju prema njemu. Pozicija, visina i širina difrakcijskih maksimuma na difraktogramu, koji predstavlja grafički prikaz ovisnosti intenziteta difraktiranog zračenja o kutu θ, temelji su za razne primjene metode praha u mineraloškim istraživanjima i mjerenjima poput kvantitativne ili kvalitativne analize faza unutar uzorka, određivanja veličine pojedinih čestica, mjerenja kristaliniteta minerala glina, ili određivanja dimenzija jedinične ćelije.

Kako različite mrežne ravnine unutar kristalnih struktura minerala imaju različite međumrežne razmake (d) tako će prema Braggovom zakonu do difraktiranog zračenja doći na različitim kutevima θ. Stoga snimanjem metodom praha možemo pomoću ranije izmjerenih vrijednosti pohranjenih unutar JCPDS baze podataka usporediti difraktograme i odrediti o kojim se fazama radi (kvalitativna analiza).

3.2.1. Izrada neorijentiranih preparata

Za početak valjalo je odrediti mineralni sastav cjelovite stijene (takozvani „bulk“ ili „whole rock“ sastav), bez odvajanja glinovite frakcije, izradom neorijentiranih preparata te vidjeti koliko se podaci poklapaju s onima iz literature i s geoloških karata. Neorijentirani preparati se ne koriste za određivanje minerala glina jer su na takvim difraktogramima njihovi maksimumi slabog intenziteta te mogu biti prekriveni maksimumima drugih minerala poput kvarca, kalcita ili feldspata. Pa ipak, rendgenogrami neorijentiranih preparata daju nam uvid u cjelokupni mineralni sastav stijene što može biti vrlo bitna informacija u daljnjem istraživanju. Priprema kako neorijentiranih tako i orijentiranih preparata i kemijska tretiranja istih provedena su u kemijskom laboratoriju mineraloško-petrološkog zavoda PMF-a.

Uzorci su uzeti iz vrećica u kojima su bili pohranjeni na terenu te je jedan dio uzoraka drobljen u ahatnom tarioniku na čestice čija veličine bi trebala biti otprilike od 1 do 5 mikrometara, ali to na žalost primjenom ovog tarionika uglavnom nije moguće. Važno je ne upotrebljavati pretjeranu silu tijekom drobljenja kako se ne bi deformirala kristalna struktura minerala što dovodi do krivih rezultata. Na primjer, mogu se javiti smanjeni intenziteti zračenja na difraktogramu iz čega se može krivo zaključiti da određenog materijala ima manje nego što je to zapravo slučaj. Nakon toga, nasumično orijentirane čestice se stavljaju na aluminijski nosač koji je potom spreman za snimanje. Instrument korišten za snimanje svih uzoraka je rendgenski difraktometar Philips PW3040/60 X’Pert Pro koji se nalazi na Mineraloško-petrografskom zavodu PMF-a, a može vidjeti na Slici 3.10.



Slika 3.10. Difraktometar Philips PW3040/60 X'Pert Pro korišten za sve rendgenske analize uzoraka iz bušotine B1, prilikom izrade ovog rada

3.2.2. Izrada orijentiranih preparata i rendgenske analize minerala glina

U svrhu određivanja sastava i analize minerala glina izrađuju se i snimaju preparati s preferiranom orijentacijom radi njihovog lakšeg razlikovanja. Naime, kao što je navedeno u poglavlju Teorijska osnova, grupe minerala glina se međusobno razlikuju po debljini paketa slojeva, koja se može odrediti iz 00l refleksa, što se može dobiti izradom preparata preferirane orijentacije u smjeru kristalografske osi c. Tako će biti pojačani bazalni refleksi s mrežnih ravnina {00l} i pomoću Braggovog zakona može se odrediti međumrežni razmak d koji je karakterističan za svaku grupu minerala glina.

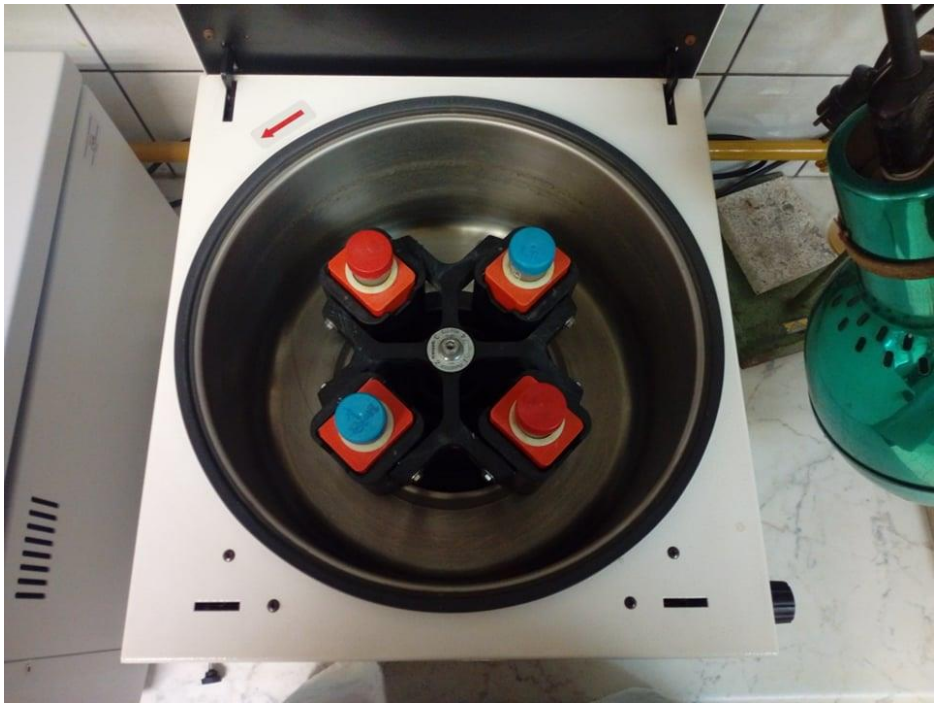
Međutim, prvo se mora odvojiti glinovita frakcija manja od 2 μm korištenjem centrifugiranja. Uzorci su bili stavljeni u laboratorijsku čašu od 600 mililitara u koju je bila dodana destilirana voda do pola te su tako odstajali nekoliko dana dok se nije mulj u potpunosti istaložio. Uzete su dvije kivete na kojima su označene visine 6 i 10 centimetara od dna. Zatim je višak vode dekantiran, a muljeviti uzorak, koji se istaložio na dnu čaše, izlio se u kivete do polovine prve oznake na 6 centimetara te se do druge oznake (10 centimetara) dodala destilirana

voda. Kivete su začepljene i dobro promiješane radi što bolje homogenosti te stavljene u centrifugu (Slika 3.11).

Odvajanje frakcije manje od 2 mikrometar odvija se po principu Stokesovog zakona sedimentacije. Prema njemu čestice gustoće d_p i promjera D tonu pod utjecajem gravitacije g, a otpor im pruža tekućina gustoće d_t i viskoznosti ɲ u kojoj dolazi do taloženja. Zbog sila koje su u ravnoteži čestice tonu stalnom brzinom V_T. Iz toga slijedi matematički izraz Stokesovog zakona: $V_T = g(d_p - d_t)D^2/18$ ɲ iz kojeg se može izvesti oblik u kojem se određuje vrijeme potrebno da čestice određene veličine, u ovom slučaju od 2 mikrona, potonu u stupcu tekućine h: **$t=18$ ɲh/$g(d_p - d_t)D^2$.**

Uzorci u kivetama centrifugirani su 2 minute i 45 sekundi na 1000 okretaja po minuti u centrifugi Techtnica/Centric 322A te su tako čestice glinovite veličine potonule u vodenom stupcu do prve oznake od 6 centimetara. Zatim špricom odvojena vodena suspenzija iz stupca od 6 do 10 centimetara, koja predstavlja frakciju manju od 2 mikrometara, i prenesena u novu čašu od 600 mililitara. U kivetu se ponovno dodaje destilirana voda do druge oznake od 10 centimetara, dobro promiješa i postupak centrifugiranja se ponovi. Važno je napomenuti kako se za svaki uzorak centrifugiranje mora ponoviti najmanje četiri puta kako bi se odvojilo što više glinovite komponente. Kada je odvajanje sitne frakcije gotovo laboratorijsku čašu treba ostaviti nekoliko dana na zraku da se glinoviti materijal istaloži. Nakon perioda od par dana i kada smo sigurni da je proces taloženja završio, bistru vodu treba dekantirati, a iz ostatka se priređuju orijentirani preparati.

Za svaki uzorak se uzima jedno predmetno stakalce i dijamantnom olovkom prereže se po pola, upisuje oznaka uzorka te se na kraju matiraju na jednoj strani pomoću praha finoće 500 radi boljeg prianjanja čestica za površinu. Potom se glinovita frakcija pomoću kapaljke nakapala na matiranu površinu stakalaca koja su ostavljena određeno vrijeme da se nakapani materijal osuši na zraku i potom su tako dobiveni orijentirani preparati snimljeni na rendgenskom difraktometru.



Slika 3.11. Kivete netom prije centrifugiranja.

3.2.3.Tretiranje orijentiranih preparata

Kao što je već spomenuto u ovom radu, kvalitativna analiza minerala glina pomoću metoda rendgenske difrakcije vrši se razlikovanjem iznosa međumrežnog razmaka i pozicije bazalnih {00l} refleksa na difraktogramu. Međutim, određene grupe minerala glina mogu imati vrlo slične unutarnje strukture što znači da se pozicija njihovih maksimuma na difraktogramu mogu podudarati. Minerali glina determiniraju se na temelju promjena pozicija difrakcijskih maksimuma nakon što se orijentirani preparati tretiraju s organskim molekulama i žare na različitim temperaturama. Procedura koja je korištena u ovom radu je standard prilikom analize minerala glina (STARKEY i sur., 1984).

Za početak preparati su stavljeni u eksikator s etilen glikolom dva dana na sobnoj temperaturi kako bi se ispitalo svojstvo bubrenja, te su nakon toga preparati analizirani. Etilen glikol ($C_2H_6O_2$) spada u dvovalentne alkohole te kao organska molekula može ući u strukturu bubrećih minerala glina što se uočava u promjeni položaja maksimuma.

Također, nakon tretiranja preparata etilen glikolom, uzet je dodatni izdvojeni materijal koji je zasićivan magnezijem kako bi se uvidjela razlika između mineralnih vrsta bubrećih glina, konkretno smektita i vermikulita. Izdvojeno je 0,2 grama frakcije manje od 2 mikrometara

zajedno s 30 mililitara 1M otopine magnezijevog klorida ($MgCl_2x6H_2O$) i ostavljeno na magnetnoj miješalici preko noći. Zatim je suspenzija ulivena u kivete i centrifugirana 15 minuta na 3500 okretaja u minuti, otopina iznad taloga je dekantirana, te se dodao 96% etanol nakon čega se postupak centrifugiranja ponovi i to najmanje tri puta. Materijal iz suspenzije se nakapavao na stakalca, i potom sušio na zraku i snimao. Prilikom sušenja pojavili su se problemi jer se materijal počeo odvajati od stakalca te je suspenzija prebrzo isparila i nije bilo dovoljno materijala na stakalcu kako bi se uspješno provelo snimanje uzorka. Postupak je bio ponovljen još jednom s razrijeđenom otopinom te su se i nakon toga javljali problemi odvajanja, ali u puno manjem obujmu te je u konačnici snimanje uspješno izvedeno. Zatim se na uzorke postavio filter papir, na kojem se nakapao glicerol, najmanje 24 sata kako bi se razvila reakcija i materijal nabubrio, nakon čega su preparati snimani.

Uz kemijske tretmane, preparati su stavljani u keramičke lončiće i žareni u laboratorijskoj peći u svrhu kvalitetnog određivanja mineralnih vrsta. Naime, prilikom povećanih temperatura kod nekih minerala glina dolazi do raspadanja kristalne rešetke i njihovi maksimumi nisu prisutni na difraktogramu, a kod nekih izlazi međuslojna voda što dovodi do smanjivanja međumrežnih razmaka. Prvo su uzorci žareni na 400°C minimalno 30 minuta, potom snimani, nakon čega su ponovno žareni, ovaj put na 550°C, također minimalno 30 minuta i na kraju snimljeni na rendgenskom difraktometru

Dobiveni difraktogrami analizirani su u računalnom programu X'Pert HighScore (PANANALYTICAL, 2004), a prilikom određivanja prisutnih minerala glina u uzorcima korišteni su i podaci iz Powder Diffraction File baze te iz literature (MOORE i REYNOLDS, 1997).

3.3. Kalcimetrija

Kako bi se determinirao udio karbonata, točnije težinski postotak $CaCO_3$ u uzorku, provedeno je volumetrijsko mjerenje CO_2 Scheiblerovim kalcimetrom u kemijskom laboratoriju na Mineraloško-petrografskom zavodu PMF-a. Spomenuti CO_2 se razvija djelovanjem kloridne kiseline, a kasnije se pomoću matematičkog izraza njegov udio preračuna u udio kalcijevog karbonata. Scheiblerov kalcimetar (Slika 3.12.) sastoji se od tri staklene cijevi koje su međusobno spojene gumenim crijevima. Prva cijev je pokretna i ona služi za izjednačavanje tlaka tijekom rada, a sadrži zakiseljenu vodu koja je obojena s nekoliko kapi metil crvenog indikatora i zakiseljena s H_2SO_4 radi sprječavanja adsorpcije razvijenog CO_2. Druga cijev je

graduirana, sadrži mjernu traku, a na vrhu ima ventil koji regulira komunikaciju s trećom cijevi i s okolinom. Također, kao i prva cijev sadrži zakiseljenu vodu. I konačno, treća cijev je fiksna i spojena na posudu u koju se stavlja uzorak i solna kiselina.

Na analitičkoj vagi odvagano je otprilike 1 gram uzorka i prenesen u posudu s malom čašicom u kojoj se nalazi razrijeđena (1:1) HCl. Bitno je da kloridna kiselina ne dođe u dodir s uzorkom prije nego mjerenje otpočne. Ventil na graduiranoj cijevi potrebno je postaviti u položaj da povezuje drugu i treću cijev, a pomicanjem pokretne cijevi poravnava se razina tekućine u prvoj i drugoj cijevi na razinu 0. Zatim već spomenuti ventil treba postaviti u položaj tako da povezuje treću cijev s okolinom i začepiti posudu s uzorkom čepom kalcimetra kojim završava gumeni nastavak treće cijevi. Posuda s uzorkom stavlja se na magnetnu miješalicu koja se potom uključuje ne bi li se HCl izlio na uzorak. Reakcijom HCl i uzorka razvija se CO_2 koji potiskuje vodu u graduiranoj cijevi te je potrebno poravnavati razine tekućina u prvoj i drugoj cijevi kako bi očitavanje bilo točno. Nakon 10 minuta očitan je volumen razvijenog CO_2 na skali graduirane cijevi te je količina $CaCO_3$ preračunata pomoću formule:

$$\% \ CaCO_3 = \frac{V(CO_2) x \ F \ x \ 2{,}274 \ x \ 100}{m \ (uzorak)}$$

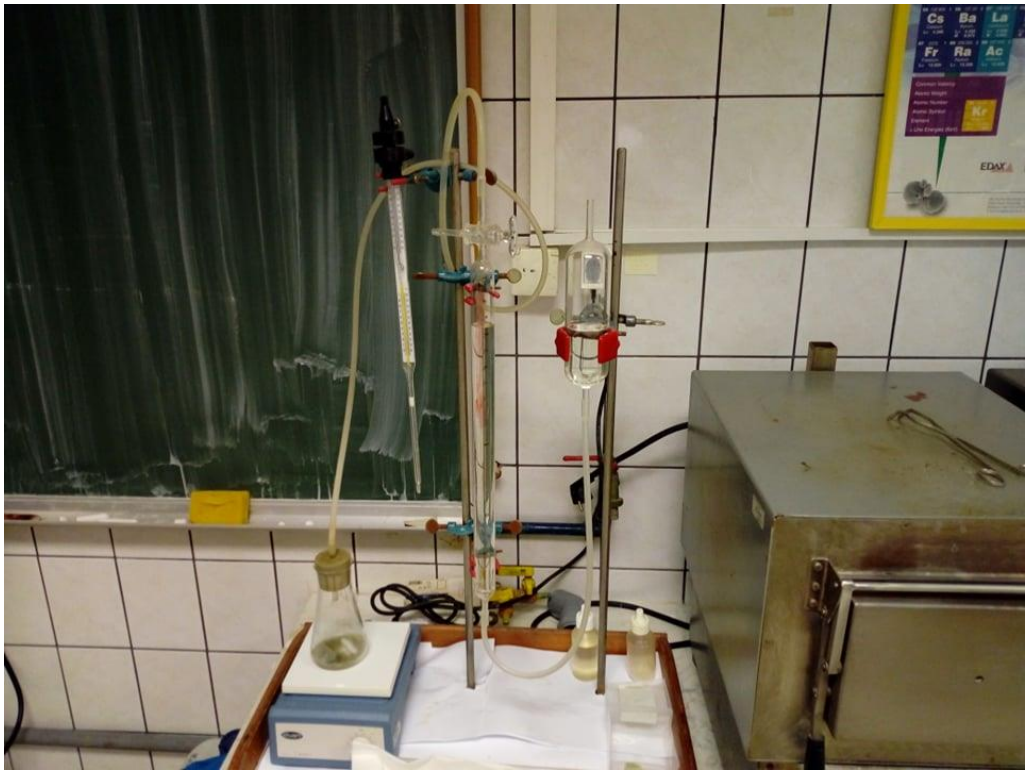
gdje je:

V (CO_2) = volumen razvijenog CO_2 [ml],

F = faktor koji predstavlja težinu 1 ml CO_2 pri temperaturi i tlaku za vrijeme provođenja analize (iščitava se iz ranije napravljenih empirijskih tablica),,

m (uzorak) = masa uzorka [mg],

Na kraju se iz dobivenih rezultata dva mjerenja uzima prosječna vrijednost radi dobivanja što točnijeg rezultata.



Slika 3.12. Scheiblerov kalcimetar.

3.4. Metoda mokrog sijanja i metoda sedigrafa

Analize opisane u ovom poglavlju obavljene su u laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda na PMF-u. Na početku, za svaki uzorak odvagano je 50 grama materijala i stavljeno u laboratorijsku posudu s destiliranom vodom kako bi se uzorak dobro razmuljio i istaložio. Zatim je uzorak dobro promiješam, a višak vode otklonjen i materijal prosijan metodom mokrog sijanja kroz niz sita (Slika 3.13.) s otvorima veličine: 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 i 0,063 milimetara. Materijal koji je zaostao na određenom situ je ispran s destiliranom vodom u laboratorijske posude koje su za to bile predviđene. Zatim su te frakcije osušene, te izvagane na analitičkoj vagi i njihova masa upisana je u obrazac.

Frakcija koja je prošla kroz sito s otvorima veličine 0,063 milimetara dalje je analizirana na sedigrafu. Prije analize te su frakcije ostavljene da se istalože, a potom je višak vode dekantiran kako bi, preostala debljina stupca vode jednaka je debljini sedimenta. Na taj način postignuta je zahtijevana gustoća suspenzije za analizu na sedigrafu.

Slično kao i separacija centrifugiranjem, metoda određivanja veličine zrna pomoću sedigrafa temelji se na sedimentaciji pod utjecajem gravitacije, koju opisuje Stokesov zakon, i apsorpciji rendgenskih zraka. Uzorci su analizirani na SediGraphu 5100 (Micromeritics Instrument Corporation). SediGraph 5100 sustav za sedimentacijsku analizu radi uz pomoć računalnog programa SediGraphWin 5100. Prije proučavanja uzoraka analizirana je čista sedimentacijska tekućina (destilirana voda s natrijevim heksametafosfatom kao antikoagulansom) čime je dobivena bazna linija–linija koja pokazuje prolaznost (apsorpciju) rendgenskih zraka u pripremljenoj otopini. Prolaznost za dotične analize bila je ~ 135 Kcnts/s. Da bi analiza bila valjana, krivulja prolaznosti rendgenskih zraka za suspendirani uzorak treba biti 50–70 % bazne linije (67–94 Kcnts/s) (MICROMERITICS, 2002). Nakon analize frakcija <0,063 milimetara na sedigrafu, dobiveni podaci spojeni su s podacima dobivenim sijanjem. Tako spojeni set podataka za svaki uzorak obrađen je uz pomoć statističkog paketa Gradistat® (BLOTT i PYE, 2001). U ovom radu korišteni su podaci za koeficijent sortiranosti i prosječnu veličinu čestica. Koeficijent sortiranosti govori kakva je raspodjela veličine unutar uzorka, odnosno je li zastupljena jedna ili više granulometrijskih frakcija. Matematički se može izračunati iz izraza:

$$So = \frac{(\phi 84 - \phi 16)}{4} + \frac{(\phi 95 - \phi 5)}{6{,}6}$$

gdje je:

ϕ84 = veličina čestica na 84% granulometrijske krivulje

ϕ16= veličina čestica na 16% granulometrijske krivulje

ϕ95 = veličina čestica na 95% granulometrijske krivulje

ϕ5 = veličina čestica na 5% granulometrijske krivulje

Kategorije sortiranosti sedimenta:

< 0,35 ..... vrlo dobro sortirano
0,35-0,50 ..... dobro sortirano
0,50-0,70 ..... umjereno dobro sortirano
0,70-1,00 ..... umjereno sortirano
1,00-2,00 ..... loše sortirano
2,00-4,00 ..... vrlo loše sortirano
> 4,00 ..... izrazito loše sortirano

Prosječna veličina čestica računa se po formuli:

$$Mz = \frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3} \text{ [µm]}$$

gdje je:

ϕ16 = veličina čestica na 16% granulometrijske krivulje,
ϕ50 = veličina čestica na 50% granulometrijske krivulje,
ϕ84 = veličina čestica na 84% granulometrijske krivulje,

3.4.1. Mikropaleontološke analize

Nakon mokrog sijanja materijal zaostao na pojedinom situ za svaki uzorak spremio se u vrećice i iskoristio radi uvida u mikrofosilni sadržaj. Materijal s pojedinog sita stavljen je u pliticu, koja je podijeljena na kvadrate jednake veličine, a zatim je analiziran pod stereoskopskom lupom u svrhu prepoznavanja provodnih fosila i određivanja geološke starosti.



Slika 3.13. Set sita koja su korištena u određivanju granulometrijskog sastava. Lijevo na stolu su vidljive posude u kojima se nalazi suspenzija s frakcijom koja je prošla kroz sito s otvorima veličine 0,063 milimetara.

3.5. Geomehaničke metode analize

3.5.1. Određivanje zatečene vlage

Za razliku od prije opisanih metoda, geomehaničke analize provedene su u inženjerskogeološkom laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta te su sve analize rađene prema britanskom standardu BS 1377-2 iz 1990. godine.

Udio vode u tlu ili stijeni poznat i kao vlažnost predstavlja vrlo bitan čimbenik u njihovom ponašanju. Svojstva stijene, a naročito tla mogu biti ozbiljno promijenjena dodatkom čak i manje količine vode. Stoga, vlažnost predstavlja jedan od najvažnijih svojstava tala i stijena te ga je vrlo bitno kontinuirano pratiti kako bi se moglo predvidjeti njihovo ponašanje u određenim uvjetima. Isto tako, vlažnost služi i kao vodič u geomehaničkoj klasifikaciji prirodnih tala, gdje se određene vrste tala prema međusobno sličnim svojstvima svrstavaju u grupe. Utvrđeni postupak koji se koristi prilikom standardnih laboratorijskih mjerenja vlažnosti jest metoda isušivanjem.

Nakon terenskog uzorkovanja uzroci su doneseni u inženjerskogeološki laboratorij i ondje pohranjeni u vlažnu komoru kako bi im se sačuvala vlažnost. Analize su započele određivanjem zatečene vlažnosti u uzorcima. Za početak uzete su dvije metalne posude za svaki uzorak i izvagane na tehničkoj vagi s preciznošću na 0,01 gram (m_1). Potom je uzeto 30 grama uzorka koji su usitnjeni lopaticom s drvenom drškom i stavljeni u te posudice i izvagane (m_2). Metalne posude odnesene su u sušionik i sušene 24 sata na temperaturi između 105°C i 110°C.

Nakon sušenja, posude se uklanjaju iz sušionika i prenose u eksikator na 30 minuta kako bi se uzorak ohladio i potom važu s preciznošću na 0,01 gram (m_3). Vrijednosti zatečene vlage izračunati su po sljedećoj formuli:

$$\text{udio zatečene vlage} = w(\%) = \frac{m2-m3}{m3-m1} \text{x}100$$

gdje je:

m1 = masa posude za vaganje bez uzroka [g],

m2= masa posude za vaganje s vlažnim uzorkom [g],

m3= masa posude za vaganje sa suhim uzorkom [g],

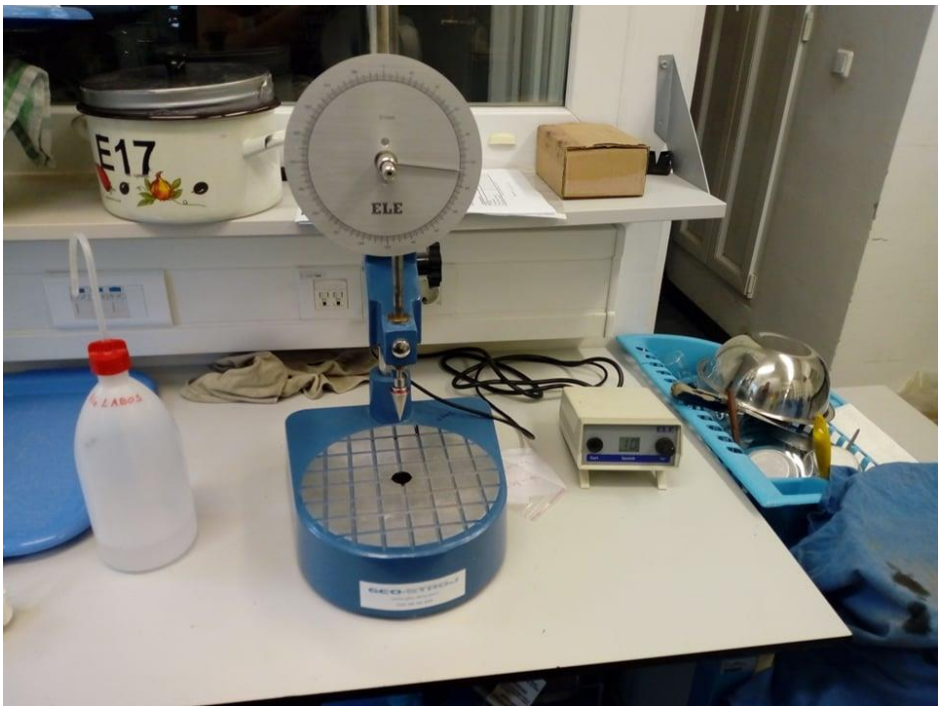
Budući da se mjerenje za svaki uzorak provodi na 2 posude uzima se aritmetička sredina 2 rezultata.

3.5.2. Određivanje granice tečenja

Dva glavna načina ispitivanja granice tečenja su pomoću metode konusnog penetrometra ili pomoću Casagrandeovog aparata. Potonja metoda je starija, pa iako je subjektivnija to jest, rezultati puno više ovisi o iskustvu izvođača, često se koristi prilikom geomehaničke klasifikacije tala. Međutim, u ovom radu korištena je druga metoda pomoću konusnog penetrometra (Slika 3.14.). Lakše se izvodi od metode Casagrandeove treskalice, i pruža egzaktnije rezultate.

Priprema uzorka započinje uklanjanjem svih krupnijih čestica i uzimanjem mase od 300 grama rezanjem na manje komadiće nožem ili lopatice s drvenom drškom. Uzorak se prebacuje na ravnu, čistu, staklenu ploču i dodaje se destilirana voda. Potom se materijal temeljito miješa

dok masa ne postane debela homogena smjesa. Izmiješana smjesa uzorka prenese se u metalnu posudicu pomoću tupog noža za miješanje, pri tome pazeći da se ne stvaraju mjehurići, odnosno da se ne zarobi zrak. Višak smjese na vrhu posudice se uklanja, a površina mora ostati glatka. Konus na penetrometru se spušta tako da njegov vrh dodirne površinu uzorka u posudici koja se pomiče ne bi li ostao plitki trag. Stup mjernog instrumenta također se spušta tako da dodirne osovinu konusa i kazaljka na mjernoj skali se namješta tako da pokazuje 0 milimetara. Konačno konus se otpušta pritiskom na gumb u periodu od 5 sekundi nakon čega se ponovno spušta stup mjernog instrumenta tako da dodirne osovinu konusa i očita se dobiven iznos prodiranja. Potom se konus podiže iz uzorka i pažljivo se očisti alkoholom. Uzorak se iz metalne posudice za penetrometar tupim nožićem za miješanje prenosi u drugu metalnu posudu za vaganje tako da otprilike teži 10 grama. Nakon vaganja odnosi se u sušionik i suši 24 sata.



Slika 3.14. Konusni penetrometar.

Za svaki pojedini uzorak izvode se tri mjerenja s različitim postotkom vlažnosti. Prvo mjerenje izvodilo se na materijalu s najmanjim postotkom vode, dok se kasnijim dodavanjem destilirane vode vlažnost povećavala. Ostatak uzorka koji je ostao u posudici za penetrometar nakon odvajanja materijala za sušionik ponovno se stavlja na staklenu ploču dodaje mu se još više destilirane vode, ponovno se miješa, prebacuje u metalnu posudicu, mjeri na penetrometru i

zapisuje novi iznos prodiranja i tako još jednom uz veću količinu vode. Otprilike se vlažnost prilagođavala kako bi odgovarala dubini prodiranja od 15 milimetara s najmanjim, a 25 milimetara s najvećim postotkom vode.

Dobivena mjerenja kombiniraju se s rezultatima za zatečenu vlagu te se unose u tablice u program Microsoft Excell iz kojih on automatski iscrtava linearni graf. Na apscisu se nanose postoci vlažnosti, a na ordinatu vrijednosti prodiranja konusa. Nakon toga pomoću aproksimativne ravne linije koja najbolje povezuje izražene vrijednosti se iz linearnog grafa očitava vlažnost prilikom prodiranja konusa od 20 milimetara. Dobiveni rezultati zaokružuju se na jednu decimalu.

3.5.2. Određivanje granice plastičnosti

Ispitivanja granice plastičnosti, odnosno indeksa plastičnosti, predstavlja određivanje vlažnosti pri kojoj uzorak postaje previše suh da bi bio plastičan. Zajedno s granicom tečenja koristi se za klasifikaciju koherentnih tala, kao i za opisivanje ili predviđanje njihova ponašanja. Rezultati dobiveni metodom valjanja valjčića za određivanje granice plastičnosti predmet su subjektivne prosudbe izvođača i često se mogu razlikovati.

Za početak, uzima se metalna posudica i izvaže, a od jednog dijela uzorka oblikuje se loptica između prstiju. Loptica se valja dok god toplina dlanova ne isuši uzorak toliko da dolazi do pojave pukotina na površini. Uzorak se razdijeli na dva dijela od približno 10 grama, koji se zatim razdijele na još nekoliko manjih na kojima se testiranje izvodi zasebno. Bitno je da se pri testiranju jednog dijela ostale dijelove dobro pohrani i ne ostavlja ih nepokrivene na zraku kako im se ne bi smanjila vlažnost.

Oblikuju se valjčići pomoću palca, i dlana, prvo na debljinu promjera do 6 milimetara, a kasnije uz još valjanja na otprilike 3 milimetara na 10-15 pomicanja ruke naprijed-nazad. Debljina valjčića određuje se pomoću malene šipke za mjerenje. Uzorci se valjaju između prstiju, od vrha prsta do drugog zgloba jedne ruke i površine staklene ploče s tim da se pažnja mora usmjeriti na pritisak kojim dlan pritišće valjčić.

Pritisak ne smije biti prevelik kako se pukotine ne bi pojavile od fizičkog sloma, već je cilj da se one jave zbog isušivanja uzorka. Isto tako, važno je održavati jednoličan pritisak dok se promjer valjčića smanjuje. Inače, valjčići se oblikuju s objema rukama kako bi se uštedjelo na vremenu, međutim zbog neiskustva i točnosti ovdje su valjani samo s jednom. Na masnijim

i prahovitijim glinama potrebno je i više od 15 ponavljanja, odnosno pomicanja ruke, kako bi se pojavile pukotine.

Kada se na uzorku pojave uzdužne i poprečne pukotine valjčići se stavljaju u ranije pripremljenu metalnu posudu i važu na analitičkoj vagi s preciznošću od 0,01 gram. Nakon vaganja posuda s valjčićem se prebacuje u sušionik i ondje se uzorak suši 24 sata. Kada prođe period sušenja, metalne posude sa suhim valjčićima stavljaju se u eksikator na 30 minuta i ponovno važu. Granica plastičnosti računa se prema sljedećem izrazu:

$$W_P = \frac{m1}{m2} \; X \; 100 \; (\%)$$

gdje je:

m1 = masa mokrog uzorka (zatečena vlaga) [g],

m2 = masa suhog uzorka (nakon sušenja) [g],

Indeks plastičnosti računa se prema sljedećem izrazu:

$$Ip = WL - WP.$$

gdje je:

W_L = granica tečenja [%],

W_P = granica plastičnosti [%],

4. Rezultati

4.1. Rezultati analize neorijentiranih cijelostijenskih preparati

U svim uzorcima prisutni su kvarc, kalcit, dolomit, tinjci i minerali glina (Slika 4.1., Prilozi 1.1-1.8.). Na difraktogramima prvih 7 uzoraka maksimum s najvećim relativnim intenzitetom nalazi se na približno 26,71 °2θ (3,334 Å) i on odgovara difraktirano zračenje s mrežne ravnine (011) minerala kvarca. Najjači refleks kvarca u svim je uzorcima pojačan zbog prisutnosti tinjaca i poklapanja s njihovim (003) maksimumom na 26,87°2θ (3,30 Å), osim u zadnjem uzorku DP-8 gdje se (003) refleks ne javlja. Iako se, upravo zbog prisutnosti drugih faza i pojave interferencije, kvantitativna analiza minerala ne može provoditi samo na jednom maksimumu (STARKEY i sur., 1984), vidljivo je da je jačina najjačeg maksimuma kvarca u svim uzorcima relativno konstantna s iznimkom posljednjeg uzorka gdje ne dolazi do interferencije s maksimumom tinjaca, i da bi se njegov udio unutar bušotine mogao povezati s tim. Prisutni su i ostali refleksi istog minerala sa slabijim relativnim intenzitetima. Vrijednosti intenziteta tih maksimuma ne prelaze 20%.

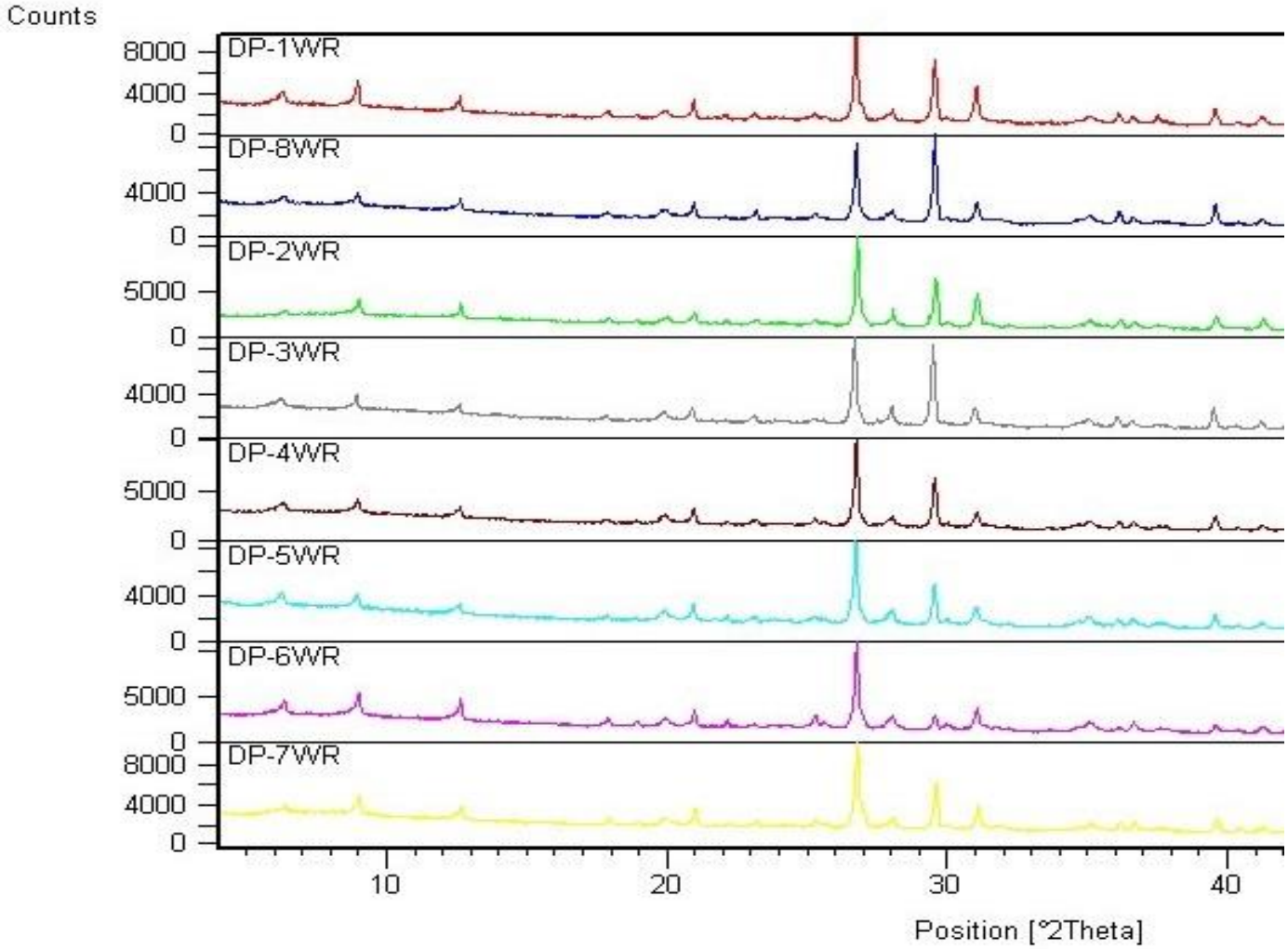
Za razliku od ostalih sedam uzoraka, jedino se na cijelostijenskom preparatu najdubljeg uzorka DP-8 najjači maksimum na difraktogramu nalazi na 29,53 °2θ (3,022 Å) te pripada mineralu kalcitu s mrežne ravnine (104). U uzorcima DP-1, DP-2,DP-3,DP-4,DP-5 i DP-7 isti je maksimum po jačini intenziteta drugi, odmah iza kvarca. Za razliku od najjačeg refleksa kvarca, kod maksimum kalcita na 29,53°2θ nije uočljiva interferencija s maksimuma drugih faza niti na jednom uzorku. Udio kalcita varira od uzorka do uzorka što se može vidjeti po širokom rasponu vrijednosti intenziteta pojedinih maksimuma (Prilozi 1.1-1.8.). Tako u uzorku DP-3 gore navedeni maksimum ima relativni intenzitet 92%, a u uzorku DP-6 17%. Od ostalih refleksa kalcita javljaju se oni s mrežnih ravnina (113), (024), (116), (223) i (202).

U svim uzorcima, osim u uzorku DP-3, treći najjači maksimum označava prisutnost druge karbonatne komponente, odnosno, minerala dolomita na otprilike 31,02 °2θ (2,88 Å). Vrijednost njegovog relativnog intenziteta kreće se između 16% (uzorak DP-3) i 39% (uzorak DP-1), a s porastom dubine vrijednosti intenziteta se stabiliziraju između 20 i 26%. Ostali

refleksi dolomita su dosta slabi, u svim uzorcima jedino je još jasno vidljiv refleks s mrežne ravnine (113).

Maksimum na 8,96°2θ (9,863 Å) pripada mineralima tinjcima odnosno illitu/muskovitu s mrežne ravnine (001). Detritični muskovit javlja se u krupnijoj frakciji, dok je illit prisutniji u finijoj, glinovitoj frakciji. Ovaj refleks je na svim uzorcima širi, naročito u baznom dijelu, od refleksa kvarca, kalcita i dolomita što upućuje na manju veličinu čestica (MOORE i REYNOLDS, 1997). Gornji dio ipak je oštriji od maksimuma minerala glina što može značiti prisutnost faze s krupnijim česticama, u ovom slučaju muskovita. Vrijednosti (001) intenziteta variraju, kao i kod kalcita, s tim da se kod illit/muskovita one kreću između 13% za uzorak DP-4 i 26% za uzorak DP-1.

Na difraktogramima cjelovitih uzoraka prisutni su i široki maksimumi na niskim kutovima koji odgovaraju mineralima glina koji su određeni na difraktometrima orijentiranih preparata frakcije manje od 2 mikrometra.



Slika 4.1. Difraktogrami svih 8 cjelovitih („whole rock“) uzoraka ograničeno na područje 40°2θ .

4.2. Orijentirani preparati

Nakon odvajanja glinovite frakcije manje od 2 mikrometra, za svaki uzorak provedeno je snimanje orijentiranih preparata praha nakon sušenja na zraku, zasićivanja s etilen glikolom, žarenja na 400°C i 550°C i zasićivanja s magnezijem. Rezultati su prikazani kao usporedni difraktogrami za svaki uzorak pojedinačno na slikama od 4.2. do 4.9. te Tablice od 3 do 10 gdje su sumirani podaci o međumrežnom razmaku d za pojedine minerale unutar uzorka i njihove promjene tijekom tretiranja. U Prilozima 2.1 do 2.8 mogu se naći tablice s detaljnijim podacima o međumrežnom razmaku d, difrakcijskom kutu 2θ, relativnim intenzitetima i indekse mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano.

Budući da se uzorci ne razlikuju u mineralnom sastavu rezultati neće biti opisani pojedinačno za svaki uzorak, nego će zbirno biti opisani procesi određivanja glinovitih minerala. U svim uzorcima prisutni su minerali: smektit, klorit, illit/muskovit i kaolinit. Osim minerala glina javljaju se i maksimumi drugih minerala prisutnih i na neorijentiranim preparatima poput kvarca, kalcita i dolomita. Čak (001) refleks kalcita ima najjači intenzitet na netretiranim orijentiranim preparatima za uzorke DP-3 i DP-8. Na DP-6-AD difraktogramu vidljiv je maksimum na 11,70°2θ (7,55Å) koji odgovara refleksu s mrežne ravnine (020) minerala gipsa.

Pojava bubreće faze određena je usporedbom difraktograma uzorka sušenja na zraku (AD) i onog nakon zasićenja etilen glikolom (EG). Na AD difraktogramima (Slika 4.2. – Slika 4.9.) vidljivi su široki maksimumi pri otprilike 6,01 °2θ (14,91 Å) koji se pomiču na otprilike 5,23°2θ (16,87 Å). Na temelju usporedbe Mg i Mg bubrenje difraktograma za sve uzorke može se zaključiti kako dolazi do pomaka maksimuma s otprilike 6,30°2θ (14Å) na 4,92°2θ (17,85Å) što potvrđuje da je bubreća faza smektit, a ne vermikulit (MOORE i REYNOLDS, 1997). Prilikom žarenja na 400°C i 550°C dolazi do gubitka međuslojne vode (STARKEY i sur., 1984) te međumrežni razmak (001) maksimuma smektita u svim uzorcima pada na približno 8,92°2θ (9,90Å) te interferira s maksimumom illit/muskovita. Na Slici 4.2. usporedbom maksimuma na 8,93°2θ (9,89Å) s difraktograma DP-1-AD i DP-1-550 vidljivo je kako se nakon žarenja na 550° relativni intenzitet pojačao. Isto vrijedi i za 400 i 550 difraktograme ostalih uzoraka. Vrijednosti relativnih intenziteta (001) refleksa variraju (Prilozi 2.1. - 2.8.) od uzorka do uzorka, a kreću se u rasponu od 34% (DP-2) do 100% (DP-7). S iznimkom prvog uzorka (DP-1), jačina (001) intenziteta smektita povećava se s dubinom, ponajviše zato što dolazi do preklapanja s (001) refleksom klorita. Promatrajući relativne intenzitete (001) maksimuma smektita na

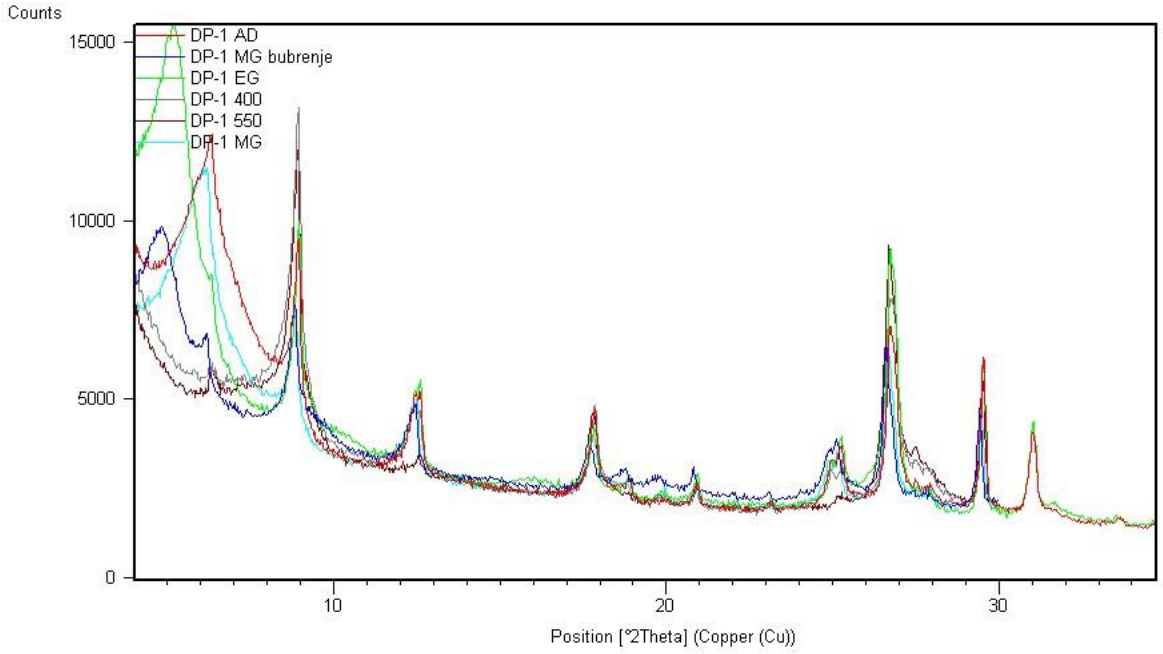
difraktogramima tretiranim etilen glikolom, čija vrijednost se kreće između 73% (DP-4 i DP-5) i 100% (DP-7 i DP-8), može se zaključiti kako je relativna zastupljenost smektita u svim uzorcima velika. Dva najdublja uzorka DP-7, uzorkovan s dubine 11,7-12,0 metara i DP-8, uzorkovan s dubine 14,5-14,7 metara, pokazuju najviše vrijednosti intenziteta i za AD i za EG rendgenograme. Maksimumi smektita s mrežnih ravnina višeg reda nisu registrirani. Ipak, na EG difraktogramima svih uzoraka vidljivo je proširenje linije između 10 i 11°2θ te između 16 i 17°2θ u usporedbi s AD difraktogramima što može upućivati na pojavu moguće neuređene međuslojne gline s visokim udjelom smektitne komponente. Međutim, njeni maksimumi nisu registrirani, stoga se ne može sa sigurnošću odrediti njeno prisustvo.

Klorit je određen u svim uzorcima prema pojavi maksimuma na približno 6,30°2θ (14,01Å) s mrežne ravnine (001), 12,59°2θ (7,02Å) s mrežne ravnina (002), 18,91°2Ɵ (4,69Å) s mrežne ravnine (003) te 25,22°2θ (3,52Å) s mrežne ravnine (004). Prilikom tretiranja glikolom i kod zagrijavanja na 400°C te 550°C maksimumi klorita ne mijenjaju poziciju niti oblik, međutim dolazi do značajnijeg gubitka na jačini relativnih intenziteta (Prilozi 2.1-2.8). Vrijednosti relativnih intenziteta za (001) maksimum klorita na AD difraktogramima kreću se između 55% (DP-5) i 100% (DP-7), dok su na EG difraktogramima one znatno manje, između 7% (DP-3) i 44% (DP-6), vjerojatno zbog prisutnosti određene količine smektita koji dodatkom etilen glikola bubri i dolazi do premještanja maksimuma na niže kutove 2θ. Maksimum klorita s mrežne ravnine (002) detektiran je u svim uzorcima (Tablice 3 do 10) te je u većini njih (DP-4 do DP-8) pod utjecajem interferencije s kaolinitom. Refleks (001) kaolinita prisutan je sve do uzorka DP-4 kada se više ne javlja te se od tad može primijetiti porast vrijednosti relativnog intenziteta (002) maksimuma klorita, naročito u DP-6, DP-7 i DP-8 uzorcima. Stoga se može zaključiti kako je zastupljenost klorita u zavisnosti o zastupljenosti kaolinita, no generalno, relativna količina klorita veća je u dubljim uzorcima. Prilikom tretiranja u svim uzorcima na EG, 400 i 550 difraktogramima dolazi do pada intenziteta (002), (003) i (004) maksimuma, slično kao i kod (001), ali u manjoj mjeri.

Nadalje, kako se na neorijentiranim preparatima svih uzoraka pojavljuju maksimumi illit/muskovita, tako se oni javljaju i u orijentiranim preparatima u glinovitoj frakciji. Illit/muskovita registriran je u svim uzorcima pojavom maksimuma s mrežne ravnine (001) na približno 8,93°2θ (9,89Å), maksimuma na približno 17,83°2θ (4,97Å) s mrežne ravnine (002) i prisutnošću (003) maksimuma na otprilike 26,67°2θ (3,34Å). Refleksi ovog minerala su oštriji od ostalih pikova minerala glina te se njegov položaj ne mijenja u značajnijoj mjeri tijekom žarenja i tretiranja svih uzorka. Intenzitet maksimuma s gore navedenih mrežnih ravnina se u

svim uzorcima tipično pojačavaju žarenjem na 400°C i 550°C gdje dolaze do vrijednosti od 100% zbog uklanjanja međuslojne vode iz smektitne faze. U orijentiranim, netretiranim preparatima sušenim na zraku (AD) gledajući vrijednosti relativnih intenziteta illit/muskovit je dominantna faza u svim uzorcima. Maksimum s mrežne ravnine (001) u 4 uzorka (DP-2, DP-4, DP-5, DP-6) karakteristično ima najjači intenzitet od 100% dok je u ostalim uzorcima ta vrijednost između 57% (DP-2) i 93% (DP-1). Isto tako (003) refleks illit/muskovita ima visoke vrijednosti intenziteta kroz sve uzorke zbog interferencije s (011) refleksom kvarca koji, u pravilu, ne bi trebao imati značajan udio u glinovitoj frakciji (MOORE i REYNOLDS, 1997). Kao zaključak, gledajući vrijednosti relativnih intenziteta, može se reći da je relativna zastupljenost illit/muskovita konstantno visoka, naročito u srednjem dijelu bušotine između DP-4 i DP-6 uzoraka.

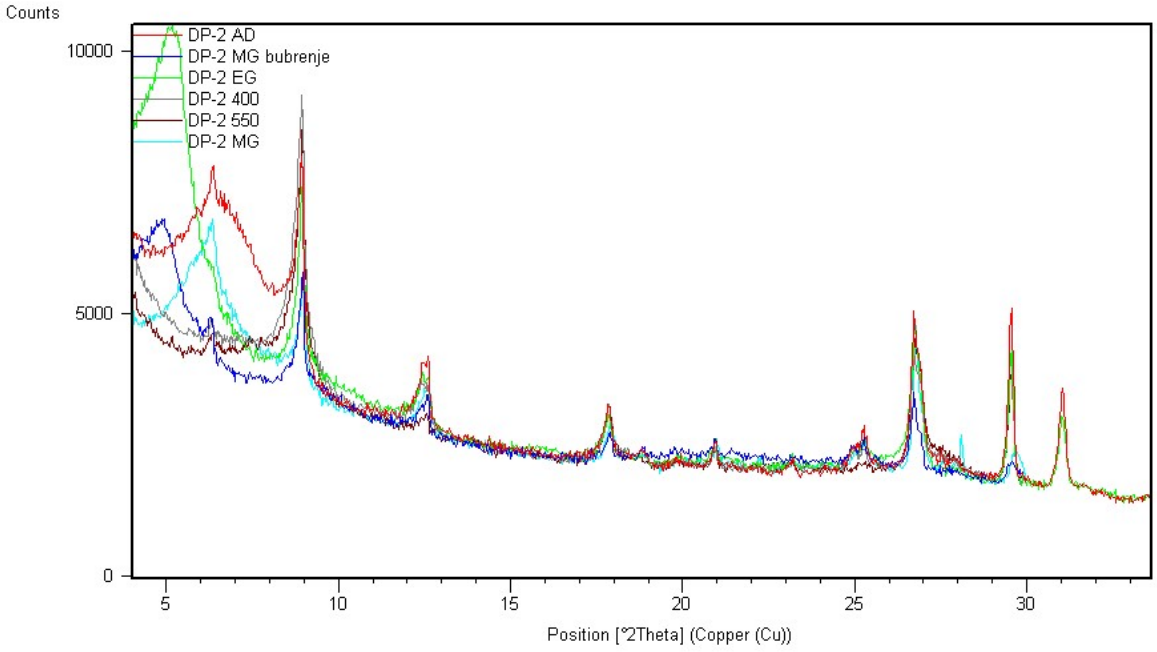
Konačno, maksimumi na otprilike 12,44°2θ (7,11Å) i na 24,9°2θ (3,57Å) registrirani na AD difraktogramima koji se zatim više ne javljaju na 550 difraktogramima predstavljaju prisutnost minerala kaolinita. Nedostatak maksimuma kaolinita pri žarenju na 550°C posljedica je raspadanja njegove kristalne rešetke zbog povišenja temperature te mineral postaje amorfan (STARKEY i sur., 1984). Upravo se to svojstvo najčešće koristi prilikom razlikovanja (001) maksimuma kaolinita i (002) maksimuma klorita, budući da se javljaju na sličnoj poziciji na difraktogramu. Međutim, kod slabo kristaliziranih klorita također se može javiti nedostatak (002) maksimuma pri višim temperaturama (STARKEY i sur., 1984) što ipak nije slučaj kod uzoraka analiziranih u ovom radu. (002) refleks kaolinita je širi nego (001) maksimum što prema MOORE i REYNOLDS (1997) sugerira na moguću interferenciju manjeg udjela klorita uz kaolinit. Za razliku od (001) refleksa koji je registriran na DP-1, DP-2 i DP-3 uzorcima, (002) maksimum kaolinita pojavljuje se u svim uzorcima s iznimkom DP-6. Kao što je gore opisano kod klorita, prisutnost kaolinita ovisi o zastupljenosti klorita, te se njihovi maksimumi mogu poklapati i interferirati što je i slučaj u uzorcima DP-4, DP-5, DP-6, DP-7 i DP-8. Sudeći prema vrijednostima relativnih intenziteta, može se zaključiti kako je relativna zastupljenost kaolinita u svim uzorcima manja od svih drugih minerala glina.



Slika 4.2. Usporedni difraktogrami uzorka DP-1 za orijentirane preparate sušene na zraku (AD),tretirane etilen glikolom (EG), žarenih na 400°C (400), žarenih na 500°C (500) i zasićene magnezijem (Mg) te naknadno tretirane glicerolom (Mg bubrenje).

Tablica 3. Podaci o međumrežnom razmaku za sva snimanja orijentiranih preparata na uzorku DP-1 uz prisutne minerale.

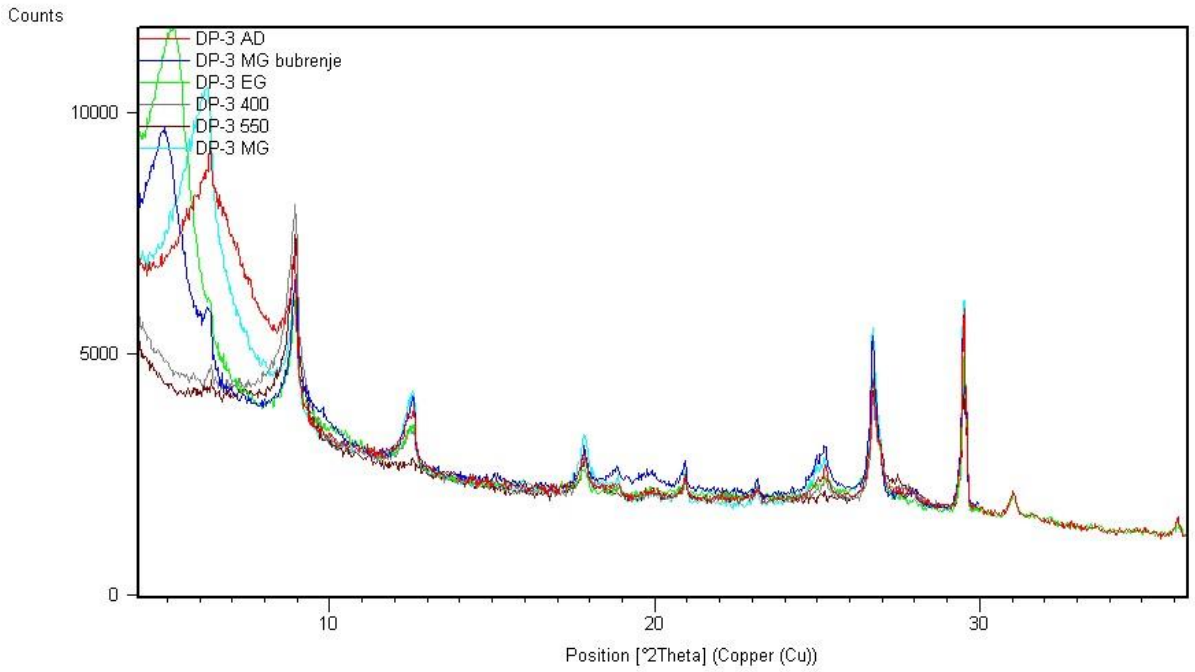
Sušen na zraku (Å)	**Etilen-glikol (Å)**	**400°C (Å)**	**550°C (Å)**	**Mg (Å)**	**Mg-bubrenje (Å)**	**Mineral**
15,14	17,74	/	/	15,15	18,00	**smektit**
14,01	13,96	14,18	14,08	14,22	14,26	**klorit**
9,89	9,89	9,90	9,91	9,97	10,01	**illit/muskovit**
7,11	7,11	/	/	7,17	/	**kaolinit**
7,02	7,02	7,03	7,06	7,07	7,09	**klorit**
4,90	4,97	4,97	4,97	4,99	5,01	**illit/muskovit**
4,69	4,49	4,70	4,70	4,71	4,72	**klorit**
3,57	3,57	3,57	/	3,58	3,59	**kaolinit**
3,52	3,53	3,52	3,53	3,53	3,55	**klorit**
3,34	3,34	3,34	3,34	3,52	3,35	**Illit/muskovit**



Slika 4.3. Usporedni difraktogrami uzorka DP-2 za orijentirane preparate sušene na zraku (AD),tretirane etilen glikolom (EG), žarenih na 400°C (400), žarenih na 500°C (500) i zasićene magnezijem (Mg) te naknadno tretirane glicerolom (Mg bubrenje).

Tablica 4. Podaci o međumrežnom razmaku za sva snimanja orijentiranih preparata na uzorku DP-2 uz prisutne minerale.

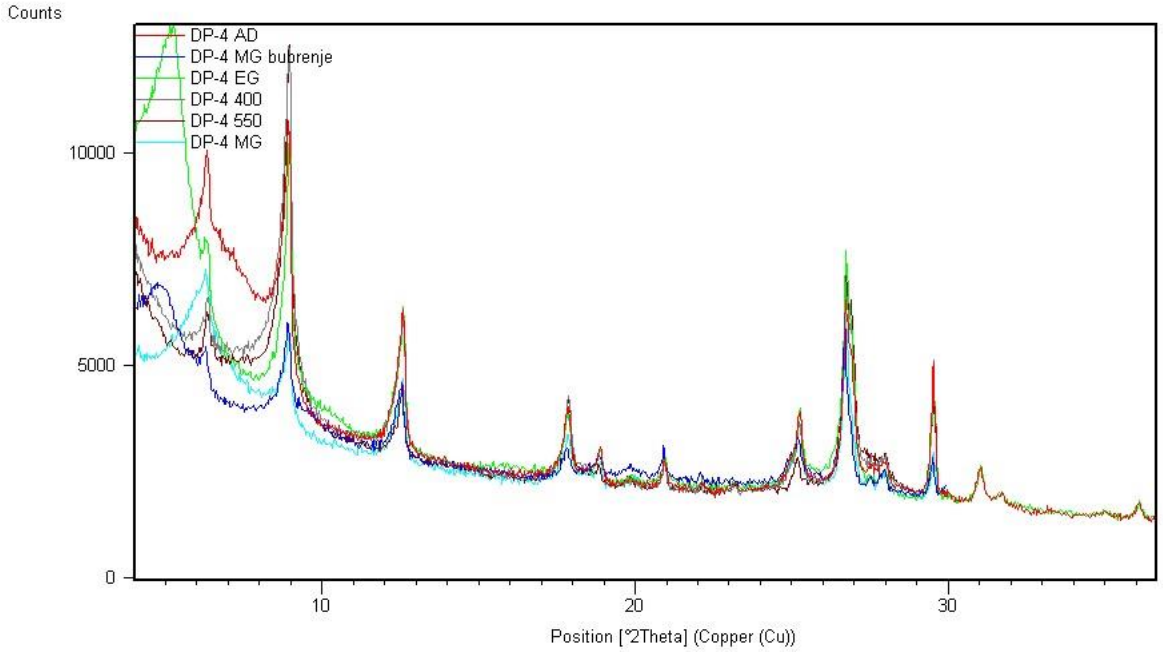
Sušen na zraku (Å)	**Etilen-glikol (Å)**	**400°C (Å)**	**550°C (Å)**	**Mg (Å)**	**Mg-bubrenje (Å)**	**Mineral**
14,93	17,52	11,58	9,87	13,96	17,22	**smektit**
13,96	13,89	14,05	14,11	13,96	14,03	**klorit**
9,89	9,88	9,90	9,87	9,82	9,89	**illit/muskovit**
7,12	/	7,14	/	/	7,20	**kaolinit**
7,02	7,02	7,13	7,03	6,99	7,01	**klorit**
4,97	4,97	4,97	4,97	4,95	4,95	**illit/muskovit**
4,68	4,70	/	/	4,70	4,70	**klorit**
3,57	3,56	/	/	3,56	3,57	**kaolinit**
3,53	3,52	3,52	3,53	3,52	3,53	**klorit-smektit**
3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	**illit/muskovit**



Slika 4.4. Usporedni difraktogrami uzorka DP-3 za orijentirane preparate sušene na zraku (AD),tretirane etilen glikolom (EG), žarenih na 400°C (400), žarenih na 500°C (500) i zasićene magnezijem (Mg) te naknadno tretirane glicerolom (Mg bubrenje).

Tablica 5. Podaci o međumrežnom razmaku za sva snimanja orijentiranih preparata na uzorku DP-3 uz prisutne minerale.

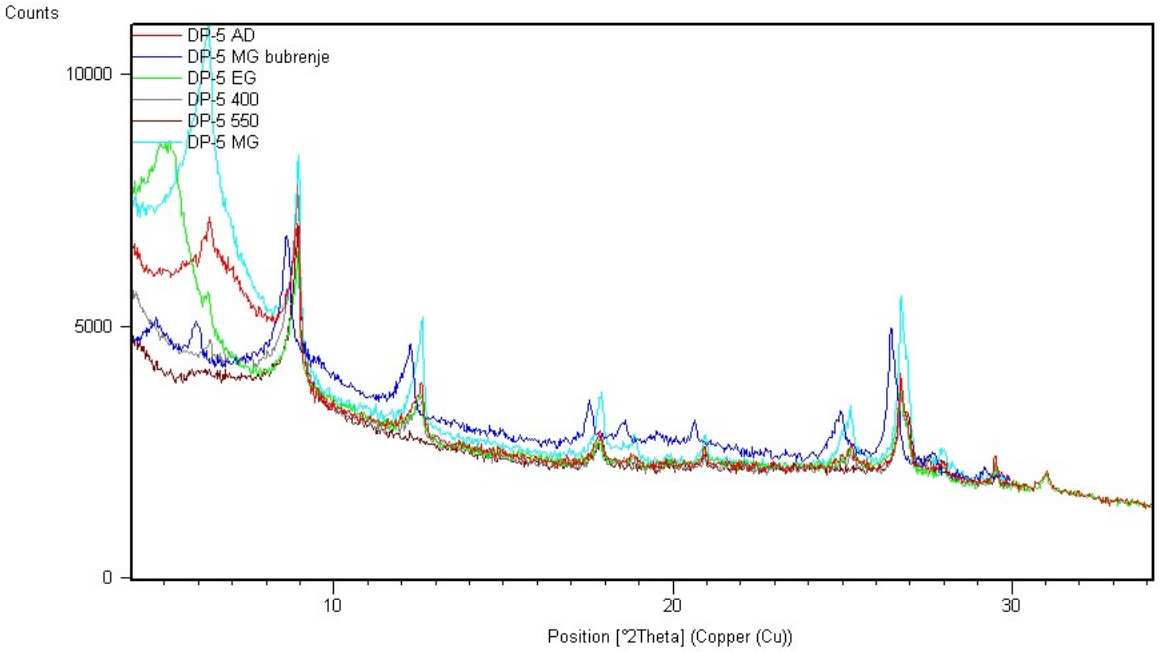
Sušen na zraku (Å)	**Etilen-glikol (Å)**	**400°C (Å)**	**550°C (Å)**	**Mg (Å)**	**Mg-bubrenje (Å)**	**Mineral**
15,77	16,32	/	/	14,08	18,17	**smektit**
13,99	14,01	14,25	13,83	14,08	13,97	**klorit**
9,90	9,88	9,89	9,89	9,90	9,89	**illit/muskovit**
7,16	7,29	/	/	/	/	**kaolinit**
7,03	7,02	7,03	7,03	7,03	7,04	**klorit**
4,97	4,97	4,97	4,96	4,98	4,98	**illit/muskovit**
4,70	4,69	4,69	/	4,69	4,70	**klorit**
3,56	3,59	3,59	3,59	3,56	3,57	**kaolinit**
3,52	3,52	3,52	3,53	3,53	3,53	**klorit**
3,34	3,33	3,34	3,34	3,34	3,34	**illit/muskovit**



Slika 4.5. Usporedni difraktogrami uzorka DP-4 za orijentirane preparate sušene na zraku (AD),tretirane etilen glikolom (EG), žarenih na 400°C (400), žarenih na 500°C (500) i zasićene magnezijem (Mg) te naknadno tretirane glicerolom (Mg bubrenje).

Tablica 6. Podaci o međumrežnom razmaku za sva snimanja orijentiranih preparata na uzorku DP-4 uz prisutne minerale.

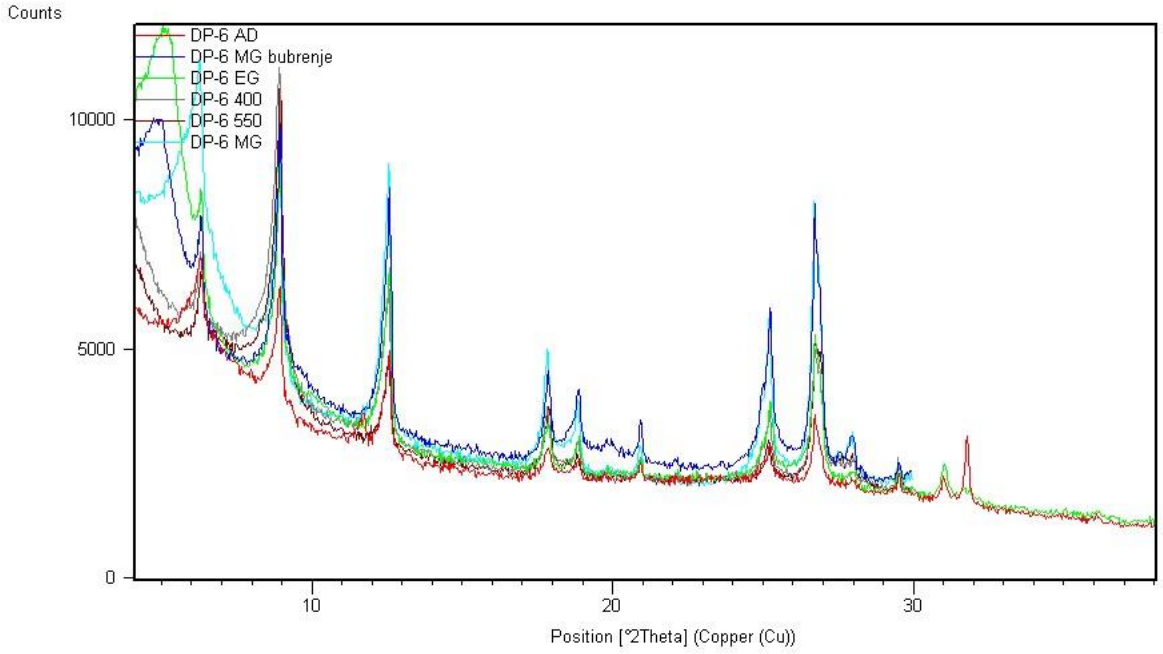
Sušen na zraku (Å)	**Etilen-glikol (Å)**	**400°C (Å)**	**550°C (Å)**	**Mg (Å)**	**Mg-bubrenje (Å)**	**Mineral**
13,98	16,80	/	/	14,08	17,64	**smektit**
13,98	13,95	13,95	13,96	14,08	14,11	**klorit**
9,90	9,88	9,88	9,88	9,88	9,92	**illit/muskovit**
7,03	7,03	7,03	7,05	7,03	7,05	**klorit**
4,97	4,97	4,96	4,96	4,97	4,98	**illit/muskovit**
4,69	4,70	4,69	4,71	4,70	4,69	**klorit**
3,58	3,57	3,56	3,56	3,57	3,58	**kaolinit**
3,52	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	**klorit**
3,36	3,33	3,33	3,34	3,34	3,34	**illit/muskovit**



Slika 4.6. Usporedni difraktogrami uzorka DP-5 za orijentirane preparate sušene na zraku (AD),tretirane etilen glikolom (EG), žarenih na 400°C (400), žarenih na 500°C (500) i zasićene magnezijem (Mg) te naknadno tretirane glicerolom (Mg bubrenje).

Tablica 7. Podaci o međumrežnom razmaku za sva snimanja orijentiranih preparata na uzorku DP-5 uz prisutne minerale.

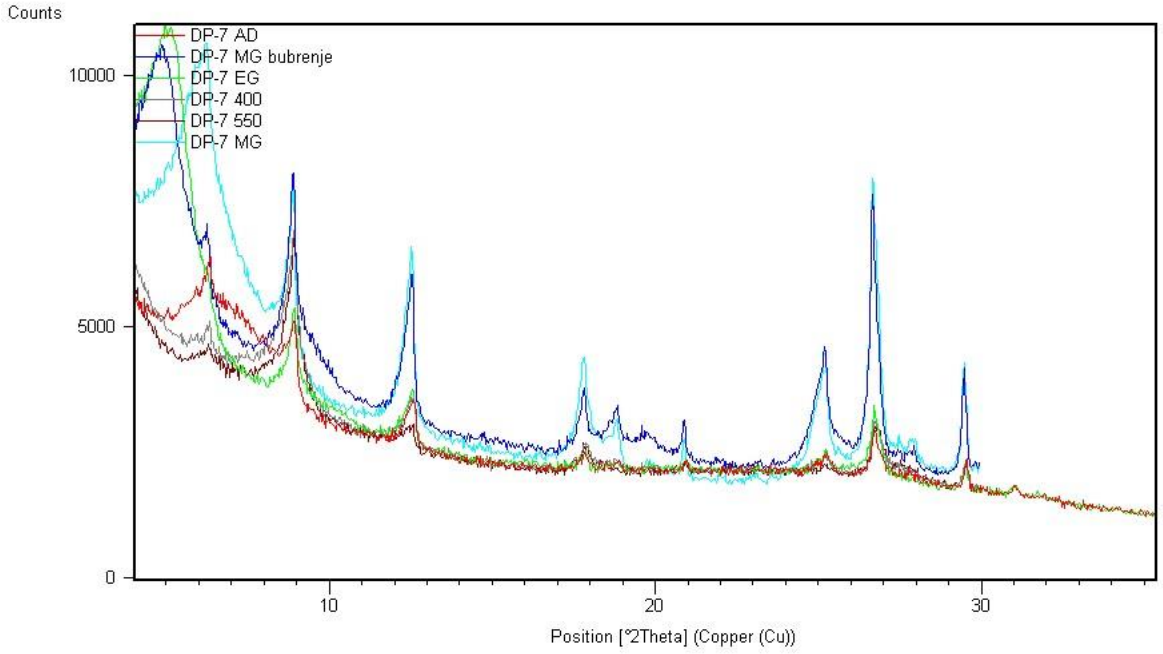
Sušen na zraku (Å)	**Etilen-glikol (Å)**	**400°C (Å)**	**550°C (Å)**	**Mg (Å)**	**Mg-bubrenje (Å)**	**Mineral**
14,48	16,58	/	/	13,99	18,62	**smektit**
14,01	14,03	13,95	14,05	13,99	14,60	**klorit**
9,90	9,90	9,89	9,86	9,86	10,25	**illit/muskovit**
7,03	7,06	7,02	/	7,03	7,20	**klorit+kaolinit**
4,96	4,96	4,97	4,96	4,96	4,95	**illit/muskovit**
4,71	4,69	4,69	4,70	4,70	4,77	**klorit**
3,56	3,57	3,57	/	3,56	3,56	**kaolinit**
3,52	3,52	3,52	/	3,53	3,56	**klorit**
3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	**illit/muskovit**



Slika 4.7. Usporedni difraktogrami uzorka DP-6 za orijentirane preparate sušene na zraku (AD),tretirane etilen glikolom (EG), žarenih na 400°C (400), žarenih na 500°C (500) i zasićene magnezijem (Mg) te naknadno tretirane glicerolom (Mg bubrenje).

Tablica 8. Podaci o međumrežnom razmaku za sva snimanja orijentiranih preparata na uzorku DP-6 uz prisutne minerale i indekse mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano.

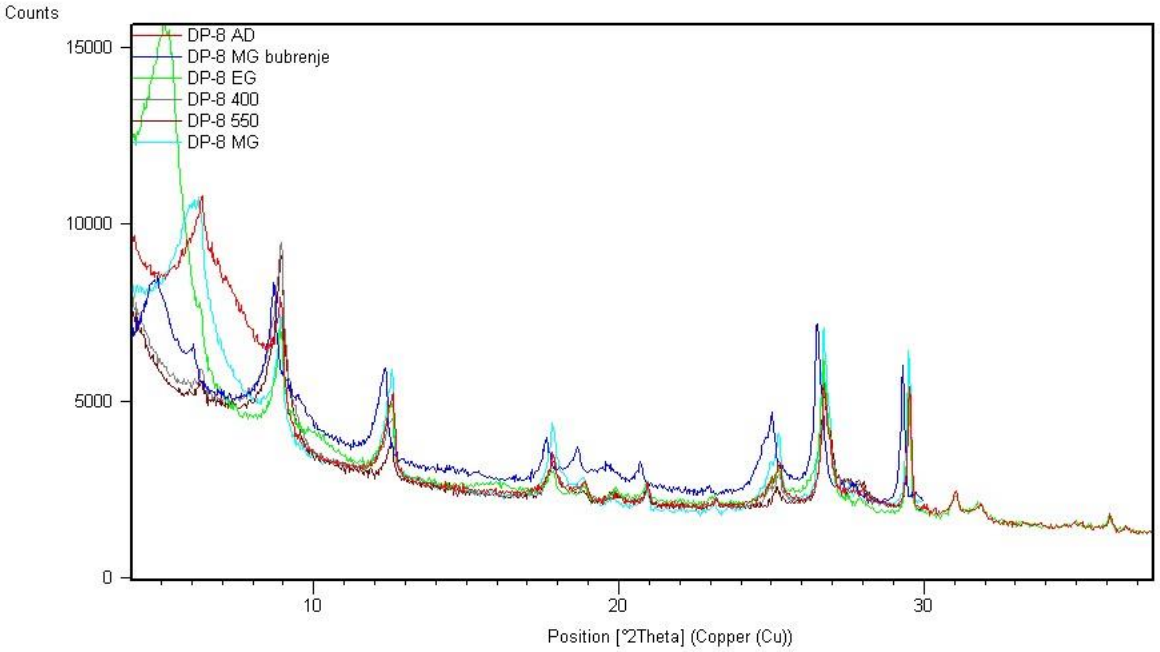
Sušen na zraku (Å)	**Etilen-glikol (Å)**	**400°C (Å)**	**550°C (Å)**	**Mg (Å)**	**Mg-bubrenje (Å)**	**Mineral**
14,06	16,57	/	/	14,06	17,61	**smektit**
14,06	13,97	14,08	13,99	14,06	14,00	**klorit**
7,55	/	/	/	7,55	/	**gips**
9,90	9,88	9,92	9,89	9,92	9,90	**illit/muskovit**
7,03	7,03	7,04	7,04	7,05	7,03	**klorit + kaolinit**
4,99	4,96	4,98	4,96	4,97	4,97	**illit/muskovit**
4,69	4,70	4,71	4,72	4,71	4,70	**klorit**
3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	**klorit + kaolinit**
3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	**illit/muskovit**



Slika 4.8. Usporedni difraktogrami uzorka DP-7 za orijentirane preparate sušene na zraku (AD),tretirane etilen glikolom (EG), žarenih na 400°C (400), žarenih na 500°C (500) i zasićene magnezijem (Mg) te naknadno tretirane glicerolom (Mg bubrenje).

Tablica 9. Podaci o međumrežnom razmaku za sva snimanja orijentiranih preparata na uzorku DP-7 uz prisutne minerale i indekse mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano.

Sušen na zraku (Å)	**Etilen-glikol (Å)**	**400°C (Å)**	**550°C (Å)**	**Mg (Å)**	**Mg-bubrenje (Å)**	**Mineral**
13,96	16,81	/	/	14,15	17,88	**smektit**
13,96	14,01	14,00	14,03	14,15	13,95	**klorit**
9,91	9,90	9,91	9,89	9,95	9,95	**illit/muskovit**
7,02	7,03	7,03	7,05	7,06	7,05	**klorit + kaolinit**
4,97	4,96	4,98	4,99	4,98	4,98	**illit/muskovit**
4,71	4,71	4,73	4,70	4,71	4,71	**klorit**
3,61	3,58	3,56	3,55	3,58	/	**kaolinit**
3,52	3,53	3,53	3,55	3,53	3,53	**klorit**
3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	**illit/muskovit**



Slika 4.9. Usporedni difraktogrami uzorka DP-8 za orijentirane preparate sušene na zraku (AD),tretirane etilen glikolom (EG), žarenih na 400°C (400), žarenih na 500°C (500) i zasićene magnezijem (Mg) te naknadno tretirane glicerolom (Mg bubrenje).

Tablica 10. Podaci o međumrežnom razmaku za sva snimanja orijentiranih preparata na uzorku DP-8 uz prisutne minerale i indekse mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano.

Sušen na zraku (Å)	**Etilen-glikol (Å)**	**400°C (Å)**	**550°C (Å)**	**Mg (Å)**	**Mg-bubrenje (Å)**	**Mineral**
14,01	16,62	/	/	15,37	18,09	**smektit**
14,01	14,07	13,96	14,02	14,00	14,61	**klorit**
9,89	9,90	9,90	9,87	9,90	10,16	**illit/muskovit**
7,02	7,04	7,02	7,04	7,04	7,16	**klorit + kaolinit**
4,97	5,00	4,96	4,97	4,97	5,03	**illit/muskovit**
4,70	4,96	4,68	4,71	4,70	4,76	**klorit**
3,58	3,58	3,57	3,55	3,61	3,60	**kaolinit**
3,52	3,53	3,53	3,55	3,53	3,56	**klorit**
3,34	3,34	3,35	3,32	3,34	3,36	**illit/muskovit**

4.2.Rezultati kalcimetrije

Metodom kalcimetrije određen je sadržaj karbonata u tlu pomoću volumetrijskog mjerenja CO_2 koji se razvija nakon reakcije uzorka s HCl. Dobiveni rezultati izdvojeni su u Tablici 11 s podacima o dubinama uzorkovanja, masi uzorka koji je sudjelovao u mjerenju, volumenu CO_2 i preračunatom postotku $CaCO_3$ za pojedini uzorak. Mjerenja su, radi preciznosti, provođena po dva puta za svaki uzorak te je kao konačni udio $CaCO_3$ uzeta srednja vrijednost. Uzorak DP-2 pokazuje najveći udio $CaCO_3$ od 38,65% dok uzorak DP-6 ima najmanji udio od 18,71%. Iz Tablice 11 vidljivo je kako udio kalcijevog karbonata prvotno pada s dubinom počevši od uzorka DP-1 i udjela od 36,36%, pa do uzorka DP-6 na dubini od 9,6-9,8 metara. Nakon toga, dolazi do rasta % $CaCO_3$ sve do kraja bušotine kada se udio vraća na razine s njenog početka. Rezultati kalcimetrijske metode uspoređeni su s rezultatima rendgenske difrakcije u kojima je zabilježena pojava kalcita i dolomita unutar cijelostijenskih uzoraka i orijentiranih preparata, te interpretirani u poglavlju Rasprava.

Tablica 11. Rezultati dobiveni metodom Scheiblerove kalcimetrije, udio $CaCO_3$ srednja je vrijednost 2 mjerenja za svaki uzorak.

Uzorak	Dubina (m)	Odvaga (mg)	Volumen (ml)	% $CaCO_3$	Srednja vrijednost (%)
DP-1	1,5-1,7	309,40	26,00	35,05	**36,36**
		315,60	28,50	37,66	
DP-2	2,8-3,0	310,90	29,00	38,90	**38,65**
		309,50	29,00	38,40	
DP-3	4,4-4,6	307,00	23,80	32,33	**33,14**
		307,10	25,00	33,95	
DP-4	7,4-7,5	300,20	17,80	25,35	**25,35**
		300,80	18,50	24,90	
DP-5	8,9-9,0	298,80	15,00	21,26	**21,14**
		298,20	15,20	21,01	
DP-6	9,6-9,8	305,00	13,00	17,72	**18,71**
		306,00	14,50	19,69	
DP-7	11,7-12,0	298,00	17,00	23,88	**24,91**
		298,60	18,50	25,94	
DP-8	14,5-14,7	302,20	26,00	35,88	**35,34**
		300,80	25,10	34,80	

4.3. Rezultati granulometrijske analize

U Tablici 12 prikazani su rezultati granulometrijske analize provedene mokrim sijanjem i sedigrafiom prema kojima su u programu Gradistat® (BLOTT i PYE, 2001) izrađeni histogrami i granulometrijske krivulje za svaki uzorak. Navedeni su analizirani uzorci, veličinske frakcije u mikrometrima i njihov maseni postotak. Granulometrijske krivulje i histogrami za pojedine uzorke mogu se naći u Prilozima 3.1 do 3.8. Svi uzorci osim DP-1, imaju neznatan postotak frakcija većih od 63 mikrometara i velik udio sitne frakcije (16-8, 8-4, 4-2, 2-1 i <1). Šest uzoraka (DP-1, DP-4, DP-5, DP-6, DP-7, DP-8) ima najveći maseni postotak čestica u frakciji 4-2 μm, dok uzorci DP-2 i DP-3 najveći maseni postotak imaju u frakciji 16-8 μm. Klasifikacija i imenovanje uzoraka vršeno je prema Folkovom dijagramu za sitnu frakciju (FOLK, 1980) prikazanom na Slici 4.10. Svi uzorci padaju u polje praha, osim uzorka DP-1, u kojem su pronađeni uklopci, stoga se projicira u polju pjeskovitog praha.

Tablica 12. Rezultati granulometrijske analize; prikazane su maseni udjeli svih veličinskih frakcija za pripadajuće uzorke iz bušotine B1.

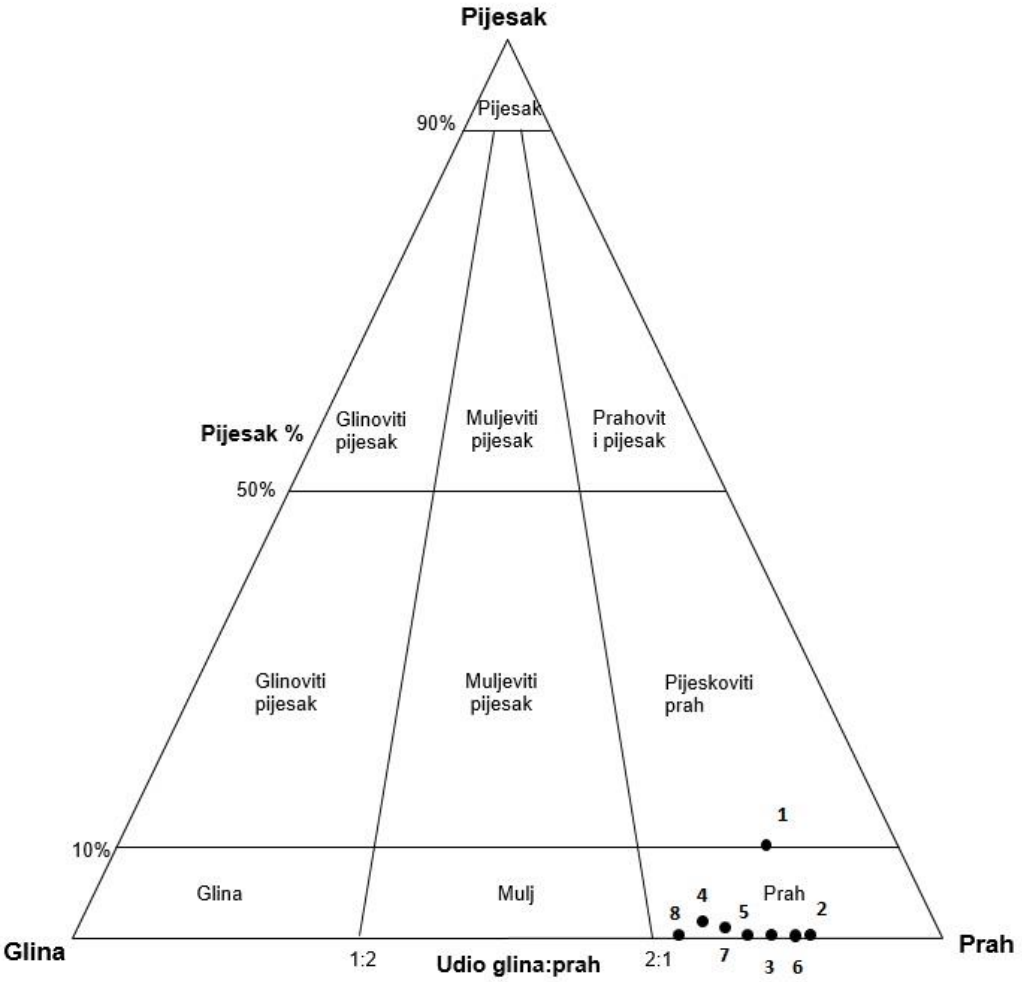
Uzorak	>4000 μm (mas %)	4000-2000 μm (mas %)	2000-1000 μm (mas %)	1000-500 μm (mas %)	500-250 μm (mas %)	250-125 μm (mas %)	125-63 μm (mas %)	63-32 μm (mas %)	32-16 μm (mas %)	16-8 μm (mas %)	8-4 μm (mas %)	4-2 μm (mas %)	2-1 μm (mas %)	<1 μm (mas %)
DP-1	6,07	2,84	2,47	2,11	2,05	1,86	2,16	2,73	9,65	17,78	19,64	19,51	7,56	9,57
DP-2	0	0,04	0,04	0,17	0,21	0,21	0,07	2,28	14,09	27,40	23,92	15,29	7,84	8,44
DP-3	0	0	0,01	0,05	0,04	0,08	0,18	4,58	17,34	21,32	19,33	15,15	9,67	12,26
DP-4	0	0,04	0,16	0,07	0,07	0,07	0,57	2,18	8,42	17,13	24,56	21,69	12,08	12,97
DP-5	0	0,06	0	0,09	0,02	0,02	0,12	1,89	10,77	17,25	25,58	20,44	11,60	12,16
DP-6	0	0	0,02	0,03	0,04	0,08	0,58	2,88	13,30	24,01	24,02	19,38	9,43	9,23
DP-7	0	0,13	0,34	0,23	0,33	0,16	0,34	3,84	12,70	19,30	21,17	17,14	10,34	13,98
DP-8	0	0,12	0,05	0,01	0,02	0,05	0,16	2,89	9,16	14,34	23,21	21,11	12,95	15,93

Imena uzoraka kao i udio pojedine frakcije, sortiranost, prosječnu veličinu zrna, i dubinu uzorkovanja vidljivi su u Tablici 13. Svi ovi podaci dobiveni su od rezultata iz Tablice 12. u programu Gradistat® (BLOTT i PYE, 2001). Uzorak DP-1 ima prosječnu veličinu zrna u rangu srednjezrnatog praha, dok je kod ostalih uzoraka ta vrijednost manja i njihova prosječna veličina čestica odgovara sitnozrnatom prahu. Sortiranost je loša u svim uzorcima (koeficijent sortiranosti kreće se u rasponu od 1,58-1,86), dok je u najplićem uzorku DP-1 i vrlo loša (3,63) te se konkretno u odnosu na dubinu ne može izvući nikakav trend pada ili rasta.

Udio šljunka i pijeska u većini uzoraka je minoran ili ga nema. Najplići uzorak DP-1 sadrži veliki broj uklopaka asfalta i donjeg sloja ceste raznih veličina koji po veličini pripadaju šljunkovitoj i pješčanoj frakciji. Šljunčana granulometrijska frakcija prisutna je samo u još jednom uzorku DP-5 i to u vrlo malom udjelu (0,10%), također u obliku uklopaka. Postotak frakcije pijeska u ostalim uzorcima, osim u DP-1, mijenja se od 0,25 do 1,40 mas. %. Frakcije praha i gline prevladavaju u svim uzorcima. Čestice veličine praha su u svim uzorcima zastupljenije od glinovitih, a u uzorku DP-2 prahovita frakcija doseže udio od 82,98 mas. % što je ujedno i najveći udio određene granulometrijske frakcije u svim uzorcima. Uzorak DP-6 također ima visoki udio prahovite frakcije od 80,59 mas.%. S druge strane, prvi uzorak DP-1 pokazuje manji udio praha (63,31 mas.%) što je uzrok veće zastupljenosti krupnijih frakcija. Postotak glinovite frakcije manji je u prva dva plitka uzorka (17,13 i 16,28 mas.%) te raste s dubinom i maksimum doseže u DP-8 s 28,88 mas.%. Jedina je iznimka uzorak DP-6 gdje udio čestica veličine gline pada za 5,1% u odnosu na DP-5.

4.3.1. Rezultati mikropaleontološke analize

Prilikom analize mikrofosilnog sadržaja utvrđeno je kako su svi uzorci sterilni, odnosno kako statistički ne postoji dovoljan broj mikrofosilnih jedinki da bi se sa sigurnošću moglo ustvrditi da su autohtone. Pronađen je manji broj foraminifera, ostrakoda, spikula spužvi i skršenih kućica školjkaša. Međutim, javio se problem kontaminacije jer su u uzorcima pronađene recentne, obalne foraminifere kao posljedica loše opranih sita. Stoga, analizom mikrofosilne zajednice nije bilo moguće odrediti geološku starost.



Slika 4.10. Pijesak-prah.glina dijagram modificiran prema FOLK (1980). Pojedini brojevi označavaju pripadajuće uzorke: *1- DP-1; 2- DP-2; 3- DP-3; 4- DP-4; 5- DP-5; 6- DP-6; 7- DP-7; 8- DP-8.*

Tablica 13. Podaci o prosječnoj veličini zrna, sortiranosti, udjelu pojedinih veličinskih frakcija te naziv sedimenta za svaki uzorak po FOLK (1980). Rezultati prosječne veličine zrna i sortiranosti pojedinih uzoraka dobiveni su pomoću programa Gradistat® (BLOTT i PYE, 2001).

Uzorak	Dubina uzorkovanja (m)	Prosječna veličina zrna (µm)	Sortiranost	Šljunak (mas.%)	Pijesak (mas.%)	Prah (mas.%)	Glina (mas.%)	Naziv sedimenta (prema Folk 1980)
DP-1	1,5-1,7	14,44 - srednjezrnati prah	3,63 - vrlo loše sortirano	8,91	10,65	63,31	17,13	**Pjeskoviti prah**
DP-2	2,8-3,0	6,08 - sitnozrnati Prah	1,58 - loše sortirano	0,04	0,70	82,98	16,28	**Prah**
DP-3	4,4-4,6	5,55 - sitnozrnati Prah	1,84 - loše sortirano	0,00	0,36	77,71	21,93	**Prah**
DP-4	7,4-7,5	4,12 - sitnozrnati Prah	1,69 - loše sortirano	0,04	0,94	73,97	25,05	**Prah**
DP-5	8,9-9,0	4,37 - sitnozrnati prah	1,68 - loše sortirano	0,06	0,25	75,93	23,76	**Prah**
DP-6	9,6-9,8	5,54 - sitnozrnati prah	1,65 - loše sortirano	0,00	0,75	80,59	18,66	**Prah**
DP-7	11,7-12,0	4,77 - sitnozrnati prah	1,86 - loše sortirano	0,13	1,40	74,15	24,32	**Prah**
DP-8	14,5-14,7	3,78 - sitnozrnati prah	1,77 - loše sortirano	0,12	0,29	70,71	28,88	**Prah**

4.4. Rezultati geomehaničkih analiza

Rezultati geomehaničkih analiza prikazani su u Tablici 14. na Slici 57 te na Prilozima 4.1-4.8 Vrijednosti zatečene vlažnosti, granica plastičnosti (W_P), tečenja (W_L), indeksa plastičnosti (I_P) i imena sedimenta prema EN ISO 14688-2 mogu se naći u Tablici 14. Najveći postotak zatečene vlage izmjeren je u uzorku DP-6 i to 35%, dok je u uzorku DP-2 zabilježen najmanji udio od samo 7%. Vrijednosti se nakon DP-3 uzorka povećavaju s obzirom na DP-1 i DP-2 te se kreću u rasponu između 25 i 35%.

Nadalje, postoci vlažnosti za granicu plastičnosti variraju te se ne može zaključiti kako ovise o dubini uzorkovanja. Najviši udio vlažnosti pri kojem se materijal ponaša plastično zabilježen je u uzorku DP-5 (31,9%), a najmanji u DP-7 (23,8%).

S druge strane, kod granice tečenja i indeksa plastičnosti može se vidjeti kako se, s izuzetkom DP-7, s dubinom vrijednosti povećavaju. Uzorci DP-1 i DP-2 imaju W_L oko 50% dok je kod glavnine uzoraka s većih dubina zabilježen W_L>60%. Samim tim uzorci DP-1 i DP-

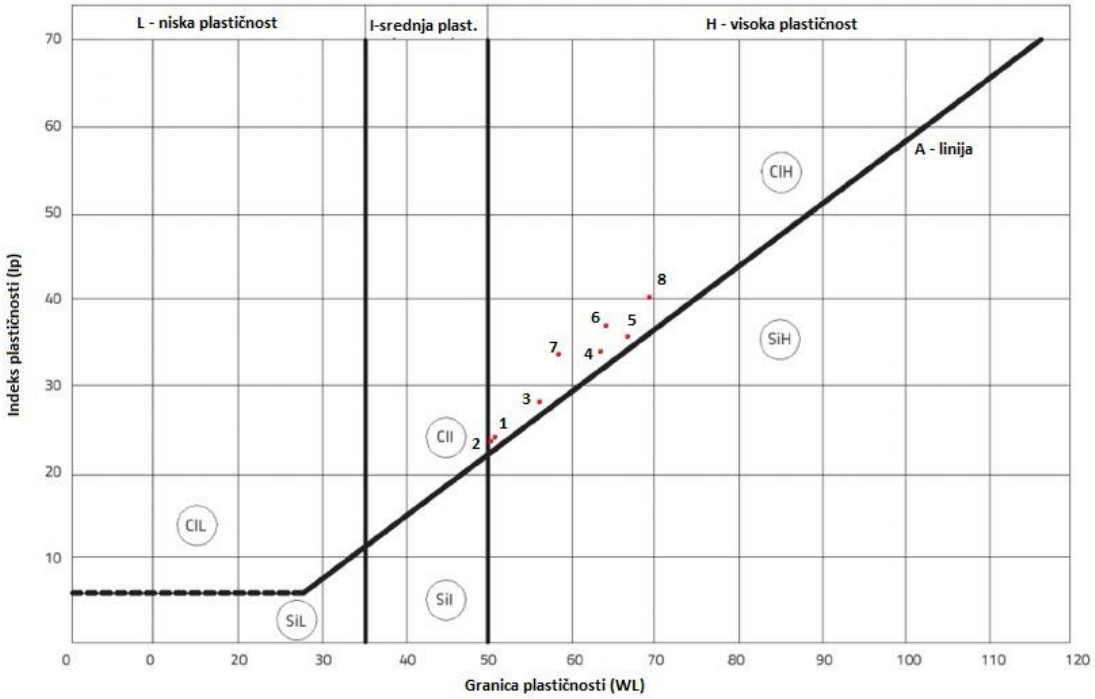
2 imaju manje vrijednosti I_P nego W_P, uzorak DP-3 pokazuje skoro slične postotke za oba parametra, a za DP-4, DP-5, DP-6, DP-7 i DP-8 udjeli I_P rastu i kreću se između 34,5-40,5%.

Tablica 14. Rezultati postotaka zatečene vlažnosti, granice plastičnosti, granice tečenja, indeksa plastičnosti i nazivi uzoraka prema ESCS grafu za klasifikaciju sitnozrnata tla prema geomehaničkim svojstvima (EN ISO 14688-2).

Uzorak	Dubina (m)	Vlažnost (%)	Granica Plastičnosti (%)	Granica Tečenja (%)	Indeks plastičnosti (%)	Naziv sedimenta
DP-1	1,5-1,7	18	27,5	51,1	23,6	**ClH - glina visoke plastičnosti**
DP-2	2,8-3,0	7	27,6	50,4	22,8	**ClH - glina visoke plastičnosti**
DP-3	4,4-4,6	30	27,5	56,0	28,5	**ClH - glina visoke plastičnosti**
DP-4	7,4-7,5	33	28,7	63,3	34,6	**ClH - glina visoke plastičnosti**
DP-5	8,9-9,0	29	31,9	67,8	35,9	**ClH - glina visoke plastičnosti**
DP-6	9,6-9,8	35	26,6	63,7	37,1	**ClH - glina visoke plastičnosti**
DP-7	11,7-12,0	25	23,8	58,3	34,5	**ClH - glina visoke plastičnosti**
DP-8	14,5-14,7	33	28,7	69,2	40,5	**ClH - glina visoke plastičnosti**

Nazivi svih uzoraka na temelju geomehaničkih svojstava dobiveni su iz klasifikacijskog grafa prema ESCS-u (EN ISO 14688-2) (Slika 4.11.). Klasifikacija se temelji na odnosu između indeksa plastičnosti i granice tečenja te se tla mogu svrstati u polja praha ili gline visoke, srednje i niske plastičnosti. Uzorci s W_L<35% klasificiraju se kao oni s niskom plastičnosti, dok se svi materijali s W_L>50% klasificiraju kao materijali s visokom plastičnosti. A linija razdvaja polja glina i prahova, odnosno materijale s višom i nižom kohezijom. Određeni brojevi označavaju odgovarajuće uzorke kao što je navedeno u opisu slike.

Svi obrađeni uzorci padaju u polje CIH, odnosno gline visoke plastičnosti. Prva dva uzorka DP-1, a naročito DP-2 koji ima najnižu vrijednost granice tečenja, nalaze se blizu granice između srednje i visoke plastičnosti te između praha i gline. Uzorci DP-3, DP-4 i DP-5 smješteni su blizu A linije što ukazuje na smanjenu vrijednost konzistencije u odnosu na uzorke DP-6, DP-7 i DP-8. Uzorak DP-7 karakterističan je po smanjenoj vrijednosti W_L= 58,3% što odstupa od ostalih uzoraka koji su uzorkovani na većim dubinama (DP-6 i DP-8). Kod posljednjeg uzorak DP-8 zabilježeni su najveći postoci W_L i I_P.



Slika 4.11.. Klasifikacijski dijagram za razlikovanje sitnozrnata tla na temelju geomehaničkih svojstava prema ESCS sustavu s analiziranim uzorcima; A linija razdvaja materijale s višom i nižom kohezijom, odnosno razdvaja gline od prahova dok brojevi na grafu predstavljaju odgovarajuće uzorke: 1-*DP-1*; 2-*DP-2*; 3-*DP-3*; 4-*DP-4*; 5-*DP-5*; 6-*DP-6*; 7-*DP-7*; 8-*DP-8*; (EN ISO 14688-2)

5. Rasprava

Zbog geoloških uvjeta u okolišu koherentne stijene su podložne postepenom procesu fizičkog i kemijskog trošenja koja dovode do slabljenja posmične čvrstoće stijena na padini. Ti procesi mogu oslabiti povezanost mineralnih zrna i uzrokovati promjenu njihove veličine i sastava što za posljedicu može imati smanjenje posmične čvrstoće na padini. Kako bi se procijenila i ustvrdila potencijalna stabilnost padine potrebno je odrediti otpornost stijena na trošenje i njegov utjecaj na promijene fizičko-mehaničkih svojstava (BHATTARI i sur., 2006). I fizičko i kemijsko trošenje unutar koherentnih stijena u znatnoj mjeri zahvaćaju minerale glina koji mogu značajno promijeniti karakteristike stijene ili tla u kojem se javljaju. U kombinaciji s mineraloškim sastavom, informacije o geomehaničkim karakteristikama mogu poslužiti pri predviđanju ponašanja materijala na padini. Ovim istraživanjem određeni su mineraloški sastav, veličina zrna, težinski udio $CaCO_3$ (%) i Atterbergove granice na uzorcima dobivenih istražnim bušenjem na klizištu Perjavica.

Kao što se i vidi na OGK 1:100 000 list Zagreb i na inženjerskogeološkoj karti grada Zagreba istog mjerila bušenje je provedeno u gornjomiocenskim naslagama (Slike 3.2. i 3.3.) koje su prema ŠIKIĆ, 1995 istaložene u mirnim, jezerskim uvjetima s postupnim oslađivanjem zbog donosa slatke vode s kopna u vidu rijeka. Također, na cijelom širem području javljaju se manje ili veće pojave nestabilnih padina i to najviše u laporovitim i pješčanim naslagama gornjem miocena i pliokvartara.

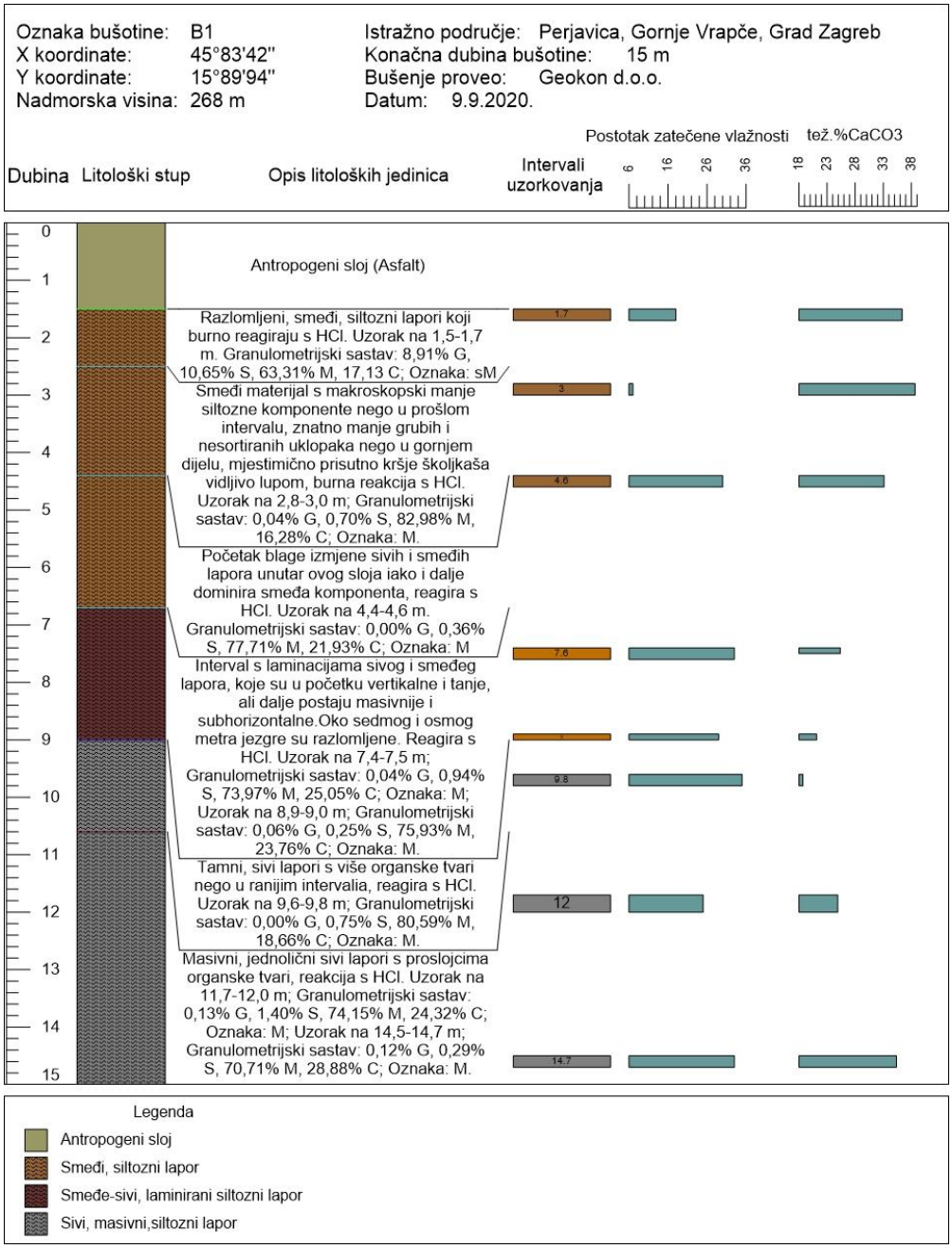
Na slici 5.1. može se vidjeti geološki stup izrađen na temelju podataka iz bušotine B1 te prikazani terenski opisi uzoraka, intervali uzorkovanja, postotak zatečene vlage i udio kalcijevog karbonata. Na temelju terenskih zapažanja uzorkovanih jezgri može se ustvrditi da se bušotina B1 sastoji od četiri dijela: antropogeni sloj (nije uzorkovan), smeđi siltozni lapor, laminirani smeđe-sivog lapora i sivi siltozni lapor koji se međusobno po mineraloškom sastavu značajnije i ne razlikuju, ali se s lakoćom može uočiti razlika u boji te pojavi laminacija ili razlomljenih dijelova jezgri. U svim uzorcima zabilježena je burna reakcija s HCl. Radi određivanja stratigrafkse pripadnosti stijena u bušotini, uzorci su pregledani pod stereoskopskom lupom ne bi li se pronašli provodni mikrofosili, međutim zbog sterilnih uzoraka u kojima nisu zabilježene značajne pojave mikrofosila starost se ovom metodom nije mogla pouzdano odrediti. U uzorku DP-2 zabilježene su manje vrijednosti zatečene vlažnosti što možda može biti posljedica lošeg uzorkovanja i skladištenja do kojih je došlo radi toga što

je istražno bušenje provodila tvrtka GEOKON d.o.o., a prilikom uzorkovanja moralo se voditi računa da se ne ometa njihov poslovni proces. Prema opisu jedinica iz literature i prema OGK naslage bušotine odgovaraju „abichi“ naslagama gornjeg miocena.

Bušotina započinje antropogenim slojem asfalta koji se prostire do 1,5 metra i koji, kako je ranije navedeno, nije uziman u obzir prilikom laboratorijskih analiza i interpretacije. Drugi dio sastoji se od smećkastih prahovitih (siltoznih) lapora koji su u gornjem dijelu razlomljeni. U njemu su uzorkovani uzorci DP-1, DP-2, i DP-3. Uzorak DP-1 uzet s dubine između 1,5-1,7 metara (Slika 5.1.) predstavlja sami početak ovog intervala, drugi uzorak DP-2 uzorkovan je u dijelu smeđeg, siltoznog lapora koji, prema terenskoj odredbi, pokazuje manji udio siltozne komponente (2,8-3,0 metara), a DP-3 uzorkovan je na 4,4-4,6 metara otprilike na sredini intervala sa smeđeg siltoznog lapora.

Interval smeđih siltoznih lapora završava na 6,7 metara kada se javlja izražena i jasno vidljiva izmjena sivih i smeđih lapora (Slika 5.1.). Oko 7. metra javlja se razlomljenost jezgri, kao i između 7,7-8,0 metra što može upućivati na prisutnost rasjeda i pukotina unutar naslaga, a to je ujedno i pogodnije mjesto za pokretanje klizanja (BHATTARI i suradnici 2006). Prema MISČEVIĆ i VLASTELICA (2014) na takvim mjestima izraženija je pojava fizičkog i kemijskog trošenja, najviše pod utjecajem povećanja udjela vlažnosti putem oborina ili povećanja nivoa podzemne vode. Pojava podzemne vode unutar ovog intervala između 6. i 7. metra dodatno smanjuje otpornost na klizanje. BHATTARI i suradnici (2006) upravo su stijene na mjestima protjecanja podzemne vode označili znatno podložnim djelovanju fizičkog trošenja. Međutim,valja napomenuti kako su se u ovom intervalu pojavili problemi prilikom bušenja. Naime, tijekom vađenja bušeće cijevi nakon bušenja drugog intervala (6-11 metara) došlo je do zapinjanja, a samim tim javili su se problemi i prilikom izvlačenja jezgre iz same bušeće cijevi, što također može biti uzrok razlomljenosti materijala.

U ostalim bušotinama nisu zabilježene pojave laminacija i izmjene smeđih i sivih siltoznih lapora. U gornjem dijelu laminiranog intervala između 7,4-7,5 metara uzet je uzorak DP-4, dok je DP-5 uzorkovan u njegovom baznom dijelu između 8,9-9,0 metra na granici sa sivim laporima. Posljednji, treći interval započinje na 9. metru i sastoji se od sivog, masivnog siltoznog lapora s crnim, milimetarskim proslojcima koji mogu upućivati na prisutnost organske tvari. Uzorak DP-6 uzet je između 9,6 i 9,8 metara, DP-7 između 11,7 i 12,0 metara dok je DP-8 uzorkovan na samom kraju bušotine između 14,5 i 14,7 metara (Slika 5.1.).



Slika 5.1. Prikaz geološkog stupa na temelju podataka iz bušotine B1 uz terenske opise litoloških jedinica s rezultatima granulometrijskih analiza, intervale uzorkovanja, postotke zatečene vlage i težinske udjele $CaCO_3$. Na intervalima uzorkovanja brojkom je određena konačna dubina uzorkovanja pojedinog uzorka. Kod opisa litoloških jedinica dodani su udjeli pojedinih granulometrijskih frakcija zastupljenih u pojedinom uzorku: *G*- šljunak, *S*- pijesak, *M*- prah, *C*- glina. Oznaka se odnosi na klasifikaciju određenog uzorka prema Folkovom dijagramu (FOLK, 1980).

Rendgenskom difrakcijskom analizom neorijentiranih preparata u svim uzorcima zabilježeni su kvarc, kalcit, dolomit, tinjci (muskovit) i minerali glina. Kvarc ima najjači maksimum u većini uzoraka, znatno interferiran s maksimumom illit-muskovita, stoga se ne

može sa sigurnošću odrediti njegova količina unutar istih. Prema MARTINČEVIĆ LAZAR (2021) kvarc je čest u uzorcima gornjomiocenskih sedimenata podsljemenske zone te se zbog svoje rezistentnosti na fizičko i kemijsko trošenje javlja kao detritični ostatak izvornog materijala. U istom su radu uz kvarc kao glavni minerali unutar gornjomiocenskih naslaga određeni minerali glina, a kao sporedni kalcit, dolomit i feldspati. Osim kvarca, u uzorcima bušotine B1 ,uz tinjce, prisutni su kalcit i dolomit, ali pojave feldspata na WR preparatima nisu zabilježene. Za razliku od kvarca, intenziteti maksimuma kalcita variraju od uzorka do uzorka. U svim uzorcima prisutan je maksimum s mrežne ravnine (104) koji je ujedno u svim uzorcima i najjačeg intenziteta od svih maksimuma kalcita. U najdubljem uzorku DP-8 na DP-8-WR difraktogramu potonji maksimum je ujedno i najjači u cijelom uzorku. S druge strane, na DP-6-WR javljaju se slabiji intenziteti kalcita nego u ostalim uzorcima što se najbolje vidi na (104) maksimumu koji je slabiji i od dolomita i od maksimuma minerala glina. Također, ako se pogledaju rezultati kalcimetrije, može se vidjeti kako najmanji udio $CaCO_3$ od svih analiziranih uzoraka ima upravo DP-6 (18,71%). Isto tako na difraktogramima DP-4-WR i DP-5-WR vidljiv je pad intenziteta kalcitnih maksimuma što se također očitava i u kalcimetrijskim mjerenjima. Također, uz kvarc i kalcit, u svim uzorcima javljaju se dolomit i muskovit koji je zastupljen u krupnijoj fazi, da bi unutar frakcije manje od 2 mikrometra dolazio s illitom.

Od minerala glina u svim uzorcima javljaju se bubreći mineral smektit i nebubreći klorit, illit-muskovit te kaolinit. U svojem radu MARTINČEVIĆ LAZAR (2021) analizirajući kvantitativno gornjomiocenske sedimente, dobiva da su illit/muskovit najzastupljeniji među mineralima glina te zajedno s kvarcom čine glavne detritične minerale dok je odmah iza njih mineral klorit koji je, također, detritičnog porijekla. Kaolinit može nastati *in situ* alteracijom kristalinskih stijena procesima površinskog trošenja, djelovanjem vode i hidrotermalnom aktivnošću. Glavni ishodišni minerali su feldspati i muskovit (illit) koji sadrže dovoljnu količinu silicija i aluminija. Smektiti u tlima mogu nastati kao produkti trošenja feldspata ili kao detritični ostatak istaložen iz suspenzije. Gledajući vrijednosti relativnih intenziteta minerala glina za sve uzorke može se reći kako je relativna zastupljenost illit/muskovita visoka i manje-više jednaka kroz cijelu bušotinu B1. Nakon tretiranja uzoraka s etilen glikolom difraktogrami su ukazivali na značajan udio bubrećih glina koje su podložne smanjenju čvrstoće stijene prilikom povećanja međumrežnog razmaka (BHATTARI i suradnici 2006). U uzorcima iz bušotine B1 glavna i jedina detektirana bubreća faza jest mineral smektit. MARTINČEVIĆ LAZAR (2021) također pronalazi smektit u gornjomiocenskim naslagama, uz vermikulit koji je dominantan u mlađim, pliokvartarnim naslagama gdje ima veliki utjecaj na fizička svojstva.

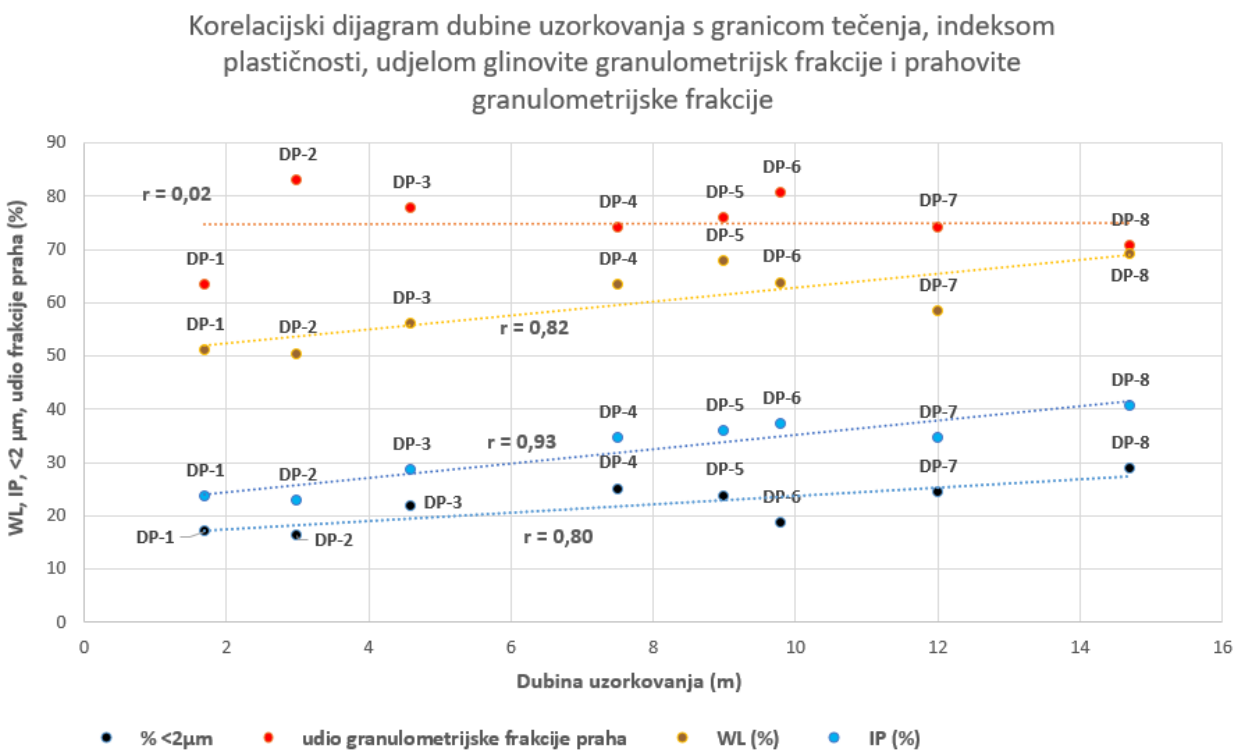
Zadnja glinovita faza koja je prisutna u svih 8 uzoraka jest mineral kaolinit čiji refleksi s mrežnih ravnina su bolje detektirani u uzorcima DP-1, DP-2 i DP-3, osobito (001) refleks koji se na difraktogramima dubljih uzoraka preklapa s (002) refleksom klorita. Prema STARKEY i sur. (1984) klorit i kaolinit imaju dobro uređenu kristalnu strukturu na difraktogramima ako se može vidjeti dobra razlučivost između (004) maksimuma klorita i (002) maksimuma kaolinita na otprilike 25°2θ. U svim analiziranim uzorcima vidljiva je razlučivost između kaolinita i klorita, dobra u DP-1, DP-2, DP-3 i DP-8, dok se u ostalim uzorcima, naročito DP-6, vidi slabije, ali je i dalje prisutna. Nadalje, MARTINČEVIĆ LAZAR (2021) u analiziranim uzorcima gornjomiocenskih naslaga detektira dobrokristalizirani kaolinit za razliku od pliokvartara gdje je čest slabokristalizirani kaolinit. Iako ne pripada mineralima glina, u uzorku DP-6 na DP-6-AD difraktogramu zabilježen je maksimum gipsa na 11,703°2θ (7,5558Å) koji se ne javlja u nijednom drugom uzorku, a niti na difraktogramu krupnije faze za uzorak DP-6 (DP-6-WR).

Rezultati mokrog sijanja i analize pomoću sedigrafa pokazali su da se uzorci ne razlikuju u bitnoj mjeri prema granulometrijskom sastavu. Izuzetak je uzorak DP-1 u kojem su se javljali uklopci centimetarskih dimenzija unutar sitnozrnatog matriksa, stoga su u njemu zabilježeni veći udjeli šljunkovite (8,91%) i pjeskovite frakcije (10,65%). Prema FOLK (1980) klasifikacijskom dijagramu uzorak DP-1 određen je kao pjeskoviti prah dok su ostali uzorci klasificirani kao prahovi. Samim tim DP-1 uzorak pokazuje najveće vrijednosti prosječne veličine čestica (14,44 μm) koje odgovaraju srednjezrnatom prahu. Uzorci uzorkovani s većih dubina pokazuju vrlo male udjele šljunkovite i pjeskovite frakcije s dominantnim česticama praha i gline, stoga imaju manje prosječne veličine čestica (između 3,78 i 6,08 μm). Udjeli frakcije praha variraju između 63,31% i 82,98%, dok se udio glinovite frakcije kreće između 16,28% i 28,88%. Najmanji udio frakcije praha, izmjeren je u DP-1 uzorku, dok uzorak DP-8 također pokazuje manji postotak prahovite frakcije u odnosu na druge uzorke, međutim u njemu je, istovremeno, izmjeren najveći postotak glinovite frakcije. Slično se može konstatirati i za DP-2 uzorak koji pokazuje najveći udio prahovite granulometrijske frakcije, ali isto tako i najmanji postotak čestica dimenzija gline. Sortiranost je u svim uzorcima loša do vrlo loša za DP-1. U uzorku DP-2 zabilježena je najniža vrijednost koeficijenta sortiranja (1,58) zbog izrazite zastupljenosti frakcije praha (82,98%) u odnosu na ostale frakcije.

Prema geomehaničkoj klasifikaciji temeljenoj na ESCS klasifikacijskom dijagramu (EN ISO 14688-2) utvrđeno je kako svi uzorci pripadaju glinama visoke plastičnosti (CIH) iako su uzorci DP-1, a naročito DP-2 na granici između polja visoke i polja srednje plastičnosti zbog

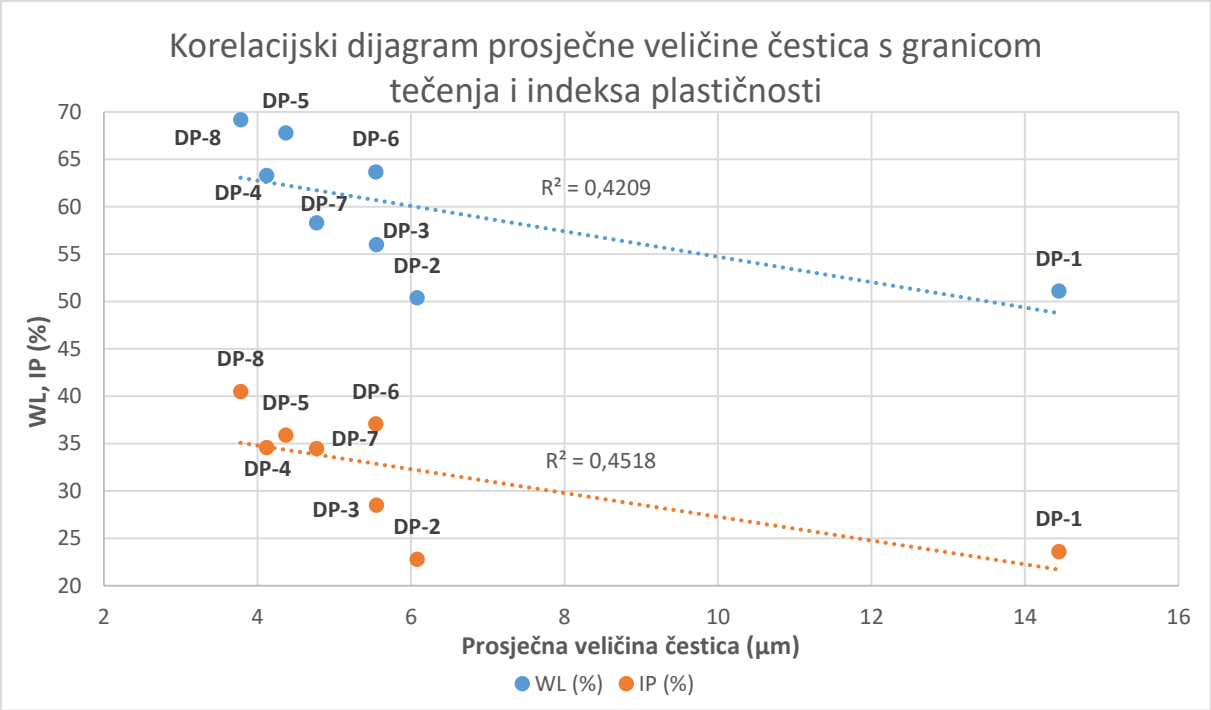
nižih vrijednosti granica tečenja, a samim tim nalaze se i vrlo blizu A linije koja razdvaja materijale visoke i niske konzistencije, odnosno gline i prahove. Udjeli zatečene vlage kreću se između 7% (DP-2) i 35% (DP-6). Rasponi vrijednosti za granice tečenja iznose između 50,4% (DP-2) i 69,2% (DP-8), za granicu plastičnosti 23,8% (DP-7) do 31,9% (DP-5) a za indeks plastičnosti između 22,8% (DP-2) i 40,5% (DP-8). MARTINČEVIĆ LAZAR (2021) određuje vrijednosti Attebergovih granica gornjomiocenskih naslaga u rasponu od 43% do 86% za granicu tečenja i između 22% i 38% za granicu plastičnosti. Za indeks plastičnosti vrijednosti su se kretale između 12% i 49%. Gornja vrijednost granice tečenja veća je nego što je to slučaj u ovom radu, no treba uzeti u obzir da su uzorci uzorkovani na različitim lokacijama i kako postoje manja odstupanja u mineralnom sastavu koja mogu uzrokovati drugačija fizička svojstva. S druge strane, vrijednosti granica plastičnosti i indeksa plastičnosti pokazuju bolje podudaranje s manjim odstupanjima koja se mogu dogoditi prilikom same analize.

Veza između dubine uzorkovanja i fizičkih svojstava uzoraka vidljiva je na Slici 5.2. Od fizičkih svojstava uvršteni su podaci o granici tečenja (smeđa boja), indeksu plastičnosti (plava boja), udjelu glinovite frakcije (crna boja) i udjelu frakcije praha (crvena boja) za svaki uzorak zajedno s iznosom koeficijenta korelacije (r). Za sva fizička svojstva, osim udjela frakcije praha može se reći kako imaju pozitivnu linearanu korelaciju s dubinom uzorkovanja, odnosno s povećanjem dubine povećat će se i vrijednosti granice tečenja i indeksa plastičnosti, te udjeli prahovite i glinovite frakcije. Najbolju korelaciju pokazuje indeks plastičnosti (r = 0,93) te samim tim najdublji uzorci DP-8 pokazuje najveću granicu plastičnosti što znači da je upravo ovaj dio bušotine B1 najnestabilniji i najpodložniji bubrenju (*MIHALIĆ*, 2007). Uzorak DP-7 odstupa od očekivanih rezultata zbog manjeg indeksa plastičnosti nego uzorci DP-4, DP-5 i DP-6. Prema WHITE (1949) vrijednosti Atterbergovih granica se povećavaju sa smanjenjem veličine mineralnih zrna, što se može vidjeti i na Slici 5.3. Uz to u uzorku DP-7 prisutan je manji udio glinovite frakcije nego u DP-4, manji udio frakcije praha nego u DP-5 i u DP-6 s neznatno većim udjelom pjeskovite granulometrijske frakcije čime se smanjuje vrijednost granice plastičnosti, a samim tim i indeksa plastičnosti. Ista pojava može se vidjeti kod granice tečenja. Uz indeks plastičnosti jasno vidljivu pozitivnu linearanu korelaciju s dubinom uzorkovanja pokazuju i udio glinovite frakcije (< 2μm) te granica tečenja s vrlo sličnim vrijednostima koeficijenta korelacije (r). S druge strane, udio prahovite frakcije ne može se korelirati s dubinom uzorkovanja na što ukazuje skoro pa horizontalna linija trenda i iznos koeficijenta korelacije (r = 0,02) koji ima premalu vrijednost za pozitivnu korelaciju.



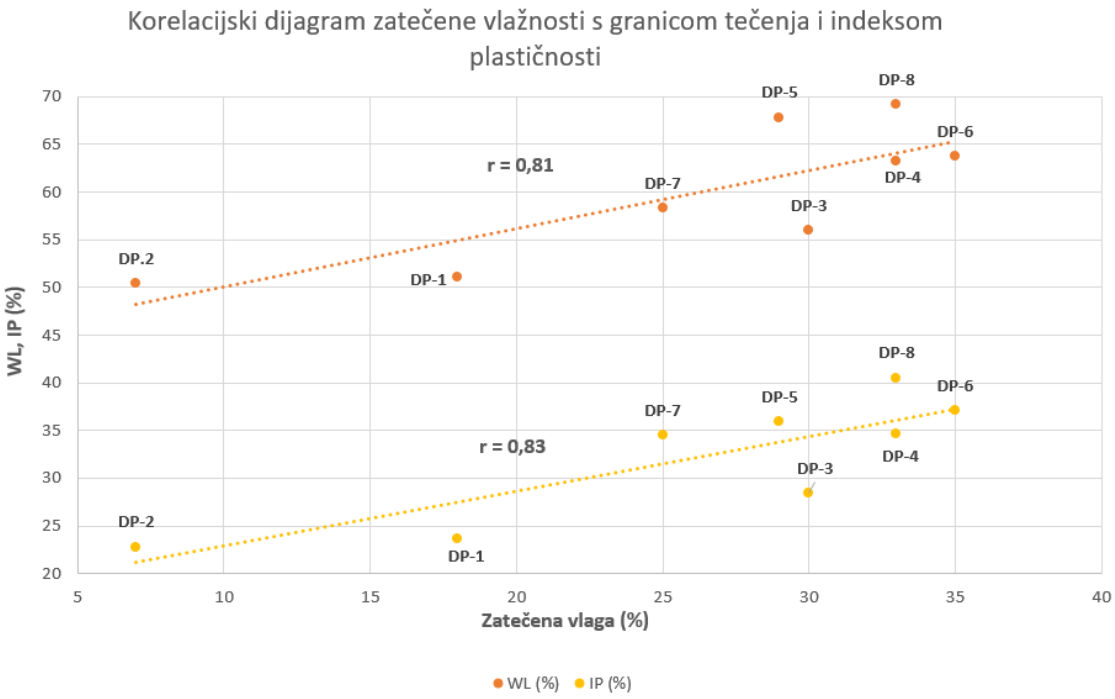
Slika 5.2. Korelacijski dijagram dubine uzorkovanja s granicom tečenja (WL), indeksom plastičnosti (IP), te udjelima glinovite i prahovite granulometrijske frakcije s korelacijskim koeficijentom (r) za svaku fizičko svojstvo.

Odnos između prosječne veličine čestica i vrijednosti granice tečenja i indeksa plastičnosti može se vidjeti na Slici 5.3. Vrijednosti granice plastičnosti su izuzeti budući da ne iskazuju korelaciju s prosječnom veličinom čestica. I za indeks plastičnosti i za granicu tečenja može se vidjeti kako imaju negativnu linearnu korelaciju s prosječnom veličinom čestica, odnosno s povećanjem prosječne veličine čestice smanjit će se iznosi granice tečenja i indeksa plastičnosti. Upravo uzorci s pojačanim relativnim intenzitetima glinovitih minerala (DP-4, DP-5 i DP-8) imaju najveće vrijednosti granica tečenja, granica plastičnosti i indeksa plastičnosti. Uzorak DP-6 pokazuje manje odstupanje zbog toga što usporedbom s DP-4, koji ima manju prosječnu veličinu čestica, daje veće iznose za granicu tečenja i indeks plastičnosti.



Slika 5.3. Korelacijski dijagram prosječne veličine čestica s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP).

Treba uzeti u obzir kako je unutar DP-6 izmjerena najveći postotak zatečene vlage (35%) od svih uzoraka iz bušotine B1. Korelacija između udjela zatečene vlage i vrijednosti granica tečenja i indeksa plastičnosti prikazana je na Slici 5.4. Vidljivo je kako su oba fizička svojstva u pozitivnoj linearanoj korelaciji s vrlo sličnim iznosima koeficijenata korelacije (r). Stoga će uzorci s povećanim udjelom zatečene vlage pokazivati veće vrijednosti granice tečenja i indeksa plastičnost. Tako i postotak zatečene vlažnosti, uz prosječnu veličinu čestica, utječe na geomehanička svojstva analiziranih uzoraka. Dobar primjer je uzorak DP-7 gdje se zbog prosječne veličine čestica, ali i manjeg udjela zatečene vlage smanjuju vrijednosti granice tečenja i indeksa plastičnosti. S druge strane, u uzorku DP-6 izmjerena je veća prosječna veličina čestica nego za DP-7, međutim zbog velike razlike u zatečenoj vlažnosti (35% za DP-6; 25% za DP-7) DP-6 pokazuje više iznose granice tečenja i indeksa plastičnosti, samim tim prema (*MIHALIĆ*, 2007) i veću nestabilnost. Uzroci u kojima se javljaju jači relativni intenziteti bubrećeg smektita poput DP-4, DP-6 i DP-8 na dijagramu pokazuju više udjele zatečene vlage, stoga i prisutnost smektita može imati utjecaja na fizičko-mehanička svojstva.

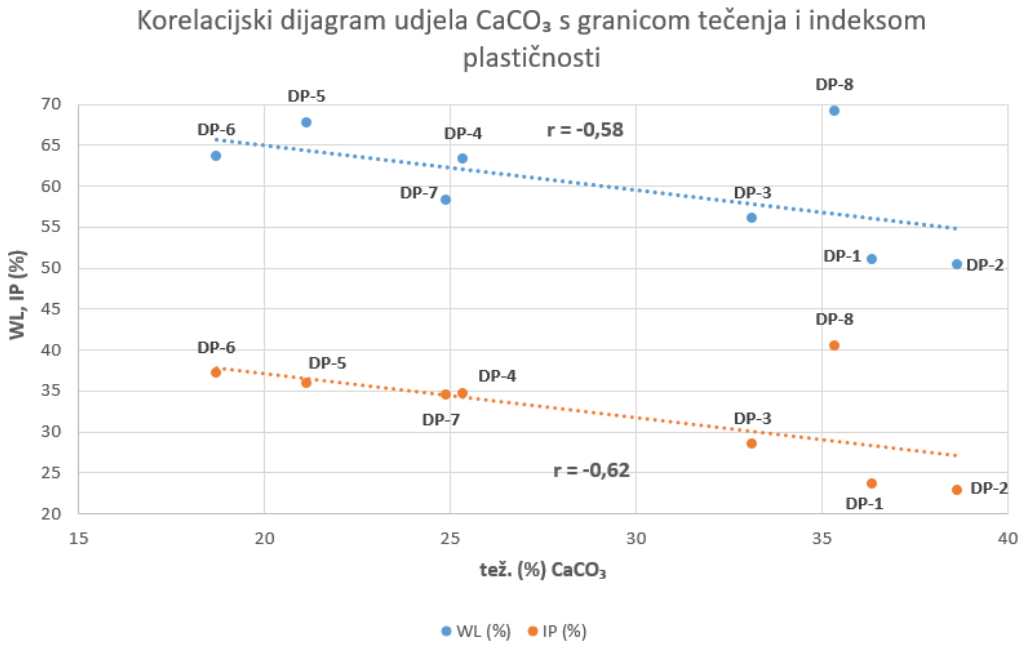


Slika 5.4. Korelacijski dijagram zatečene vlažnosti (%) s granicom tečenja i indeksom plastičnosti (%).

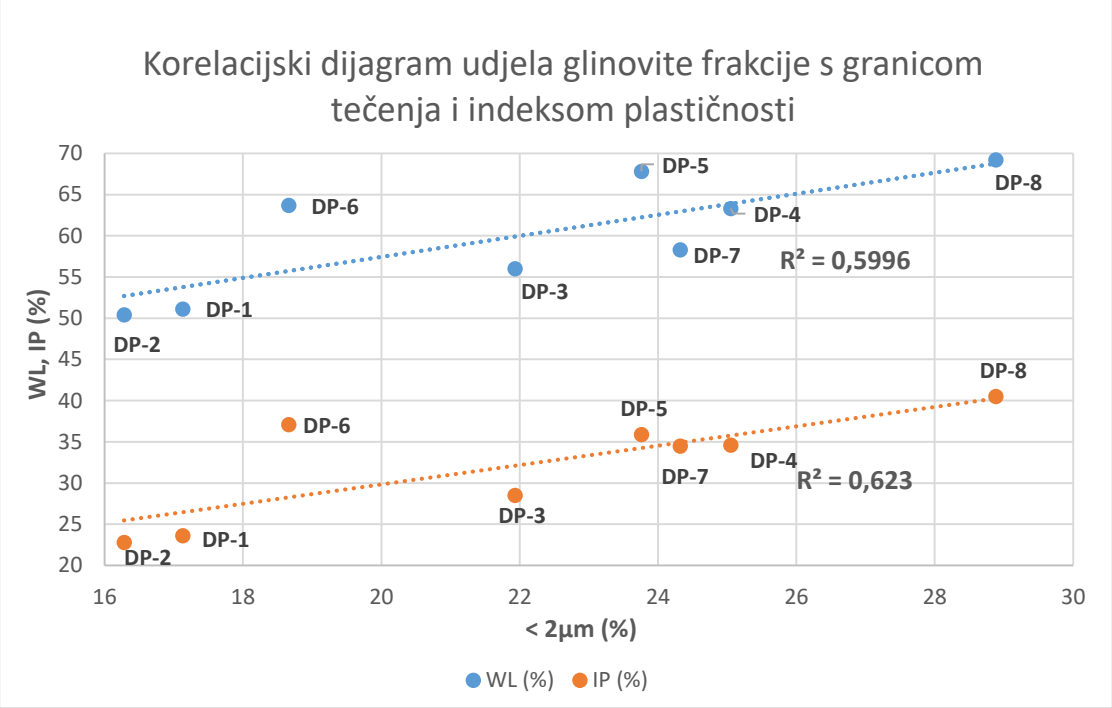
Osim prosječne veličine čestica i udjela zatečene vlage, na geomehanička svojstva utječe i udio $CaCO_3$ u analiziranim uzorcima. Na Slici 5.5 nalazi se korelacijski dijagram udjela $CaCO_3$ s granicom tečenja i indeksom plastičnosti. Jasno je vidljivo kako se radi o negativnoj linearnoj korelaciji, odnosno s povećanjem postotka $CaCO_3$ u uzorku smanjit će se vrijednosti W_L i I_P. Uzorak DP-8 zbog visokih vrijednosti zatečene vlage (33%) i malih prosječnih dimenzija čestica odstupa od uzoraka sa sličnim udjelom $CaCO_3$ (DP-1,DP-2 i DP-3) dajući veće vrijednosti granice tečenja i indeksa plastičnosti. Iz toga se da zaključiti kako udio kalcijevog karbonata ima utjecaj na geomehaničke karakteristike uzoraka, ali manji nego što imaju prosječna veličina čestica i udio zatečene vlage.

Konačno, ostaje vidjeti u kakvoj su vezi geomehanička svojstva s udjelom određene granulometrijske frakcije. Na Slici 5.6. prikazan je korelacijski dijagram udjela glinovite komponente (< 2μm) s granicom tečenja i indeksom plastičnosti. Korelacija je pozitivna, linearna te se može povezati s dijagramom na Slici 5.3., što je manja prosječna veličina čestica, odnosno što je veća zastupljenost glinovite frakcije, vrijednosti granice tečenja i indeksa plastičnosti će biti veće. Slični rezultati prikazani su u radu MARTINČEVIĆ LAZAR (2021) za gornjomiocenske gline visoke plastičnosti. S druge strane, Slika 5.7. prikazuje korelacijski dijagram udjela frakcije praha s granicom tečenja i indeksom plastičnosti na kojem ne postoji

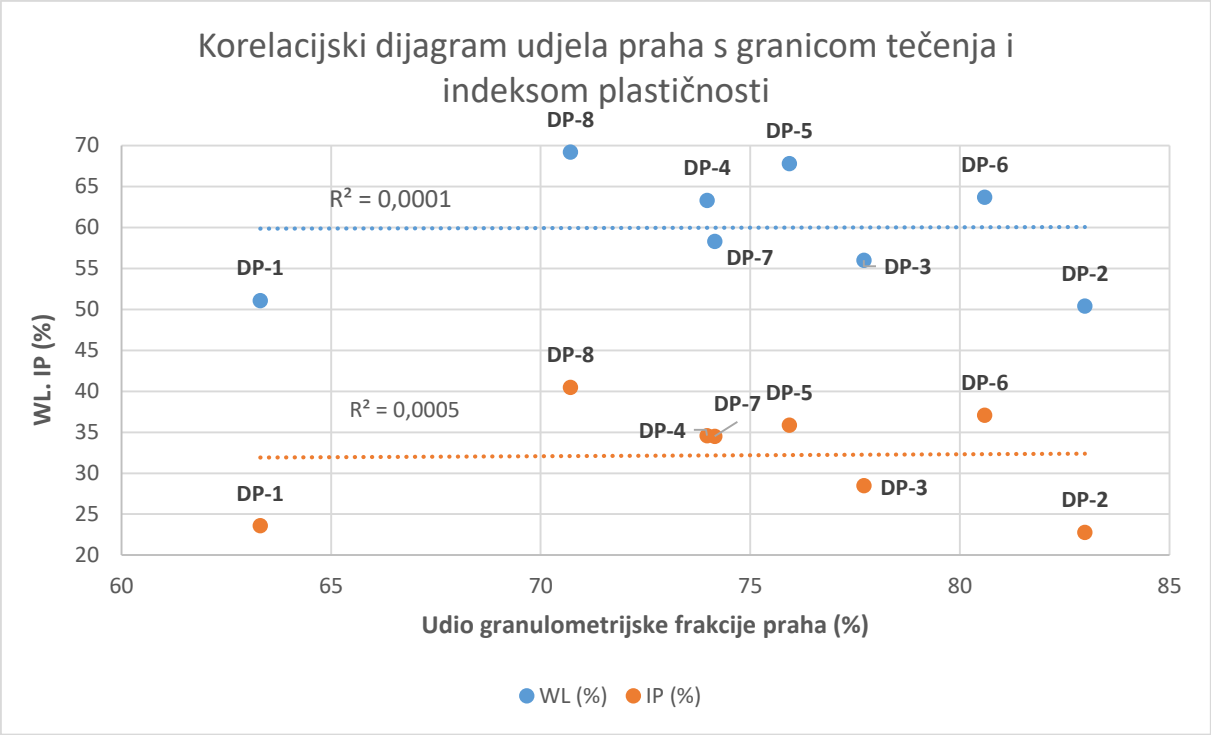
korelacija između ranije navedenih parametara. Samim tim udio glinovite frakcije, iako manje zastupljene nego frakcije praha koja dominira u svim uzorcima, ima jači utjecaj na promjenu geomehaničkih svojstava analiziranih uzoraka.



Slika 5.5. Korelacijski dijagram udjela $CaCO_3$ (%) s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP) (%).



Slika 5.6. Korelacijski dijagram udjela glinovite frakcije (< 2µm) s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP) (%).



Slika 5.7. Korelacijski dijagram udjela frakcije praha s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP) (%).

6. Zaključak

Bušotina B1 izbušena na sjevernom dijelu ulice Perjavica kod kućnog broja 122 karakterizirana je pojavom klizišta unutar sitnozrnatih, gornjomiocenskih naslaga. Istražno plitko bušenje do 15 metara izvršila je tvrtka Geokon d.o.o. u svrhu izrade geotehničkog elaborata te su uzorci analizirani u ovom radu uzorkovani iz njihove bušotine B1 koja je odabrana zbog pojave laminacija i raspucanih dijelova jezgri čime se razlikuje od ostalih bušotina. Uzorkovanje je provedeno na različitim dubinama. Metodom rendgenske difrakcije, točnije analizom neorijentiranih preparata određen je kvalitativni mineralni sastav svih 8 uzoraka: kalcit, kvarc, dolomit, tinjci (muskovit) i minerali glina. Daljnjim snimanjem orijentiranih preparata određen je sastav minerala glina s prisutnim bubrećim smektitom i nebubrećim kloritom, illit/muskovitom i kaolinitom. Kalcimetrijom je određen tež. (%) udio $CaCO_3$ koji se kreće u rasponu između 18,71% za uzorak DP-6 i 38,65% za DP-2. Pomoću metoda mokrog sijanja i metode sedigrafa determinirani su udjeli pojedinih granulometrijskih i veličinskih frakcija u svim uzorcima. Prema FOLK (1980) klasifikacijskom dijagramu svi uzorci klasificiraju se kao prah, osim najplićeg DP-1 koji je određen kao pjeskoviti prah. Sortiranost je u svim uzorcima loša osim u DP-1 gdje je i vrlo loša. Prosječna veličina čestica određena je u rasponu od 14,44 μm DP-1 i 3,78 za DP-8. Geomehanička svojstva izražena su određivanjem udjela zatečene vlage (%), Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti. Sukladno ESCS klasifikacijskom dijagramu za sitnozrnata tla (EN ISO 14688-2) svi su uzorci određeni kao gline visoke plastičnosti.

Prema svemu navedenom gornjomiocenske naslage s klizišta Perjavica mogu se opisati kao dominantno prahovite, ponegdje i pjeskovito prahovite stijene više konzistencije i plastičnosti s prisutnim bubrećim mineralima glina. Prema korelacijskim dijagramima na njihova geomehanička svojstva najviše utječu udio glinovite granulometrijske frakcije, postotak zatečene vlažnosti (pozitivna korelacija), udio kalcijevog karbonata, prosječna veličina čestica (negativna korelacija), ali i mineralni sastav, naročito prisutnost određenih minerala glina poput bubrećih smektita čija prisutnost može bitno utjecati na povećanje nestabilnosti uslijed bubrenja koje potiče fizičko trošenje stijena (BHATTARI i sur., 2006). Također, bubrenjem se mijenja i prosječna veličina čestica, kao i udio zatečene vlage, samim

tim i geomehanička svojstva stijena koja mogu biti narušena i potencijalno neotporna na procese klizanja.

U ovom radu naglasak je stavljen na povezivanje mineraloških i geomehaničkih karakteristika pri proučavanju pojave klizišta, stoga je posebna važnost posvećena rendgenskoj analizi, granulometrijskim metodama i određivanju Atterbergovih granica. U svrhu boljeg povezivanja trebala bi se provesti kvantitativna analiza minerala glina i proučiti njihov utjecaj na vrijednosti Atterbergovih granica zajedno s granulometrijskim podacima. Iako je klizanje česta pojava u sitnozrnatim gornjomiocenskim i pliokvartarnim naslagama podsljemenske zone povezivanje mineralnog sastava, granulometrijskih podataka i geomehaničkih svojstava u interpretaciji klizišta još uvijek nije dovoljno dobro istražena, stoga se ovim radom žele potaknuti daljnja mineraloška i geomehanička istraživanja sitnozrnatih, koherentnih naslaga podložnih klizanju u svrhu bolje interpretacije i razumijevanja pojava klizišta.

7. Literatura:

ABOUBAKAR, S., KANDIL, U., REDA TAHA, M.M. (2013): Creep of epoxy-clay nanocomposite at the FRP interface. 9th International Conference of Composite Science and Technology, ICCST9, Naples, 1-12.

ATTERBERG, A. (1911): Die Plastizitat der Tone, Intern mitt. Boden. I. 4-37. Atterberg A (1911) Über die physikalische Bodenuntersuchung und über die Plastizität der Tone Internationale Mitteilungen für Bodenkunde1: 10-43.

BABIĆ, LJ. i ZUPANIČ, J. (1978): Mlađi Mezozoik Ivanščice, U: Vodić ekskurzije 3. Skupa sedimentologa Jugoslavije (Ur.: Babić, Lj. i Jelaska, V.). Hrvatsko Geološko Društvo, Zagreb, 11-23.

BABIĆ, LJ.. ZUPANIČ, J. i CRNJAKOVIĆ, M. (1979): Prepoznavanje dviju jedinica unutar „klastita s ofiolitima“ Ivanščice i uloga magmatskog pojasa i aktivnog kontinentalnog ruba pri njihovom postanku. Zbornik radova 4. godine znanstvenog skupa Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Stubičke Toplice, 115-124.

BABIĆ., LJ., HOCHULI, PETER A., ZUPANIČ., J. (2002): Jurski ofiolitni melanž u SI Dinaridima: datiranje starosti, unutarnje strukture kompleksa i geotektonske implikacije. Eclogae Geologicae Helveticae, Zurich, 263-275,

BAKRAČ, K., HAJEK-TADESSE, V., MIKNIĆ, M., GRIZELJ, A., HEČIMOVIĆ, I., KOVAČIĆ, M. (2010): Dokazi za lokalne promijene razine mora u badenu na proksimalnom području Sjevernohrvatskog bazena, Geol.Croatica, 63/3, Zagreb, 259-269.

BHATTARI, P., MARUI, H., TIWARI, B, WATANABE, N., TULADHAR, G, R., AOYAMA, K. (2006): Influence of Weathering on Physical and Mechanical Properties of Mudstone. Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides, Universal Academy Press, Tokyo, 467-479.

BLOTT, S. J. i PYE, K. (2001): Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments, Earth Surface Processes and Landforms 26, 1237-1248.

BRAGG, W.H. i BRAGG W.L. (1913): The Reflexion of X-rays by Crystals, Proceedings of the Royal Society of London A 88 (605): 428-38.

BUCKOVIĆ, D. (2006): Historijska geologija II, eBook, udžbenici sveučilišta u Zagrebu, manualia universitas studiorum Zagrabiensis, 88-103.

ĆORIĆ, S., PAVELIĆ, D., RÖGL, F., MANDIC, O., VRABAC, S., AVANIĆ, R., VRANJKOVIĆ, A. (2009): Promijenjeni početak srednjomiocenske marinske transgresije Sjevernohrvatskog bazena (Panonski bazen, Centralni Paratethys), Geol.Croat. 62, 31-43.

EL-RAMADY (2016): Plant Nutrition and Advanced Soil Sciences (in Arabic), ISBN: 978-977-302-488-8, Kafrelsheikh University, 199 str.

FIORE, S., CUADROS, J., HUERTAS, F.J. (2013): Interstratified clay minerals; Origins, Characterization & Geochemical Significance; Lectures held at the 1st AIPEA School for Young Scientists University of Bari, Italy, June 12-13, 2009, 175 str.

FOLK, R.L. (1980): Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing, Austin, TX, 184 str.

GALOVIĆ, I. (2017): Nakupine sarmatskih, vapnenačkih nanofosila morskog okoliša iz JZ marginalnog dijela Paratehtysa: Implikacije za paleoceanografiju i paleoklimu, Prog. Oceanogr, 156, 206-220.

GALOVIĆ, I. i BAJRAKTAREVIĆ, Z. (2006): Biostratigrafija sarmata Medvednice bazirana na silicijskim mikrofosilima (Sjeverna Hrvatska, Središnji Parathetys), Central Paratethys), Geol. Carpath. 57, 199-210.

GEOTECHNICAL INVESTIGATION AND TESTING — IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF SOIL — Part 2: Principles for a classification (2017); ISO/TC 182 Geotechnics, 93.020 Earthworks, Excavations, Foundation construction, Underground works.

GUGGENHEIM, S. i MARTIN, R.T. (1995): Definition of clay and clay mineral: Joint Report of the AIPEA and CMS nomenclature committees, Clays and Clay Minerals, 43, 255-256.

JCPDS (1996): Powder diffraction file PDF-2 Database sets 1-46. International sets for diffraction data, Philadelphia.

KOVAČIĆ, M., MARKOVIĆ, F., ĆORIĆ, S., PEZELJ, Đ., HERNITZ-KUČENJAK, M., PREMEC-FUĆEK, V., BALEN, D. (2015): Geološki profil Nježić- Marinski sedimenti badena

s tufovima. U: Horvat, M., Galović, L., (Ur.), Vodič za ekskurzije, 5. Hrvatski geološki kongres, Osijek, 23.-25.09.2015. Hrvatski geološki institut, Zagreb.44-47 str.

MARTINČEVIĆ LAZAR, J., (2021): Utjecaj minerala glina na fizička svojstva sitnozrnastih tala podsljemenske zone grada Zagreba, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 188 str.

LUGOVIĆ, B., ŠEGVIĆ, B., ALTHERR, R. (2006): Petrology and tectonic significance of greenschist from the Medvednica mts. (Sava unit, NW Croatia), Ofioliti, 31, 39-50.

MANDIC, O., DE LEEUW, A., BULIĆ, J., KUIPER, K.F., KRIJGSMAN, W., JURIŠIĆ-POLŠAK, Z. (2012): Paleogeographic evolution of the southern Pannonian Basin: 40Ar/39Ar age constraints on the Miocene continental series of northern Croatia, Int. J. Earth Sci. 101, 1033–1046.

MANDIC, O., KUREČIĆ, T., NEUBAUER, T.A., HARZHAUSER, M. (2015): Stratigrafska i paleogeografska važnost jezerskih mekušaca iz pliocenskih, „Viviparus“ naslaga u centralnoj Hrvatskoj, Geol. Croat. 68, 179–207.

MARKOVIĆ, F. (2017): Miocenski tufovi Sjevernohrtvatskog bazena, Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 170 str.

MICROMETRICS (2002): SediGraph 5100 Particle size analysis system operator' manual, Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, Georgia.

MIKLIN, Ž. i ŠIKIĆ, V. (1997): Osnovna inženjerskogeološka karta Republike Hrvatske 1:100 000, list Zagreb, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

MIŠČEVIĆ, P. i VLASTELICA, G. (2014): Utjecaj trošenja na stabilnost padine u rahlim stijenskim masama, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 240-250.

MOORE, D.M. i REYNOLDS, R.C. (1997): X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, OxfordUniversity Press, Oxford, 1-378.

NEUBAUER, T.A., HARZHAUSER, M., KROH, A., GEORGOPOULOU, E. I MANDIC, O. (2015): A gastropod-based biogeographic scheme for the European Neogene freshwater systems. Earth-Sci. Rewiew, 143, 98-116.

NONVEILLER, E. (1981): Mehanika tla i temeljenje građevina, Građevinski fakultet, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Školska knjiga, Manualia Universitatis Studiorum Zagrabiensis Zagreb, 780 str.

ODIN, G.S. (1988): Green marine clays, Development in sedimentology, 45. Elsevier, Amsterdam, 444 str.

OLIVEIRA, T. (2017): Technological Characterization of Talc Ore from Caçapava do Sul, RS-Brazil for Development of a Process Route, Federal do Rio Grande do Sul University.

PALCU, DAN V.; TULBURE, M.; BARTOL, M.; KOUWENHOVEN, TANJA J., KRIJGSMAN, W. (2015): The Badenian-Sarmatian Extinction event in the Carpatioan foredeep basin of Romania: paleogeographic changes in the Paratethys domain, Global and Planetary Change, Doi: 10.1016/.gloplacha.2015.08.014.

PAMIĆ, J. (1996): SZ izdanci dinaridskih ofiolita, studija slučaja planine Kalnik (Hrvatska), Acta Geol. Hungarica, 40: 37-56.

PAMIĆ, J. (1999): Kristalinska podloga južnih dijelova Panonskog bazena - temeljena na površinskim i bušotinskim podacima, Nafta, 50 (9), 291-310.

PAMIĆ, J. i TOMLJENOVIĆ, B. (1998): Osnovni geološki podaci hrvatskog dijela Srednje-transdunavske zone, Acta Geol. Hungarica, 41:389-340.

PAVELIĆ, D. (2001): Tektonostratigrafski model Sjevernohrvatskog i Sjevernobosanskog dijela miocenskog sistema Panonskog bazena, Basin Res. 13, 359–376.

PAVELIĆ, D. i KOVAČIĆ, M. (1999): Donjomiocenske aluvijalne naslage Požeške gore (Panonski bazen, Sjeverna Hrvatska): ciklusi, megaciklusi i tektonske implikacije, Geol. Croat. 52, 67–76.

PAVELIĆ, D. i KOVAČIĆ, M. (2018): Sedimentologija i stratigrafija neogenskog Sjevernohrvatskog riftnog bazena (Sistemi Panonskog bazena, Hrvatska): Recenzija, Marine and Petroleoum Geology, 91, 455-469.

PILLER, W., HARZHAUSER, M., MANDIC, O. (2007): Miocene Central Paratethys stratigraphy-current status and future directions, Stratigraphy 4, 151-168.

RIEDER M., CAVAZZINI, G., YURII, S.D'YAKONOV, FRANK-KAMENETSKII, V.,A., GOTTARDI, G., GUGGENHEIM, S., KOVAL, P.,V., MÜLLER, G., NEIVA, A., M., R.,

RADOSLOVICH, E.,W., ROBERT, J., SASSI, F.,P., TAKEDA, H., WEISS, Z., WONES, D.,R. (1998): Nomenclature of the micas, The Canadian Mineralogist, Vol. 36, 42-48.

SAFTIĆ, B., VELIĆ, I., SZTANÓ, O., JUHÁSZ, GY., IVKOVIĆ, Ž. (2003): Tercijarni potpovršinski facijes, Izvorne stijene i rezerve ugljikovodika u JZ dijelu Panonskog bazena (sjeverna Hrvatska i JI Mađarska), Geol.Croat. 56, 101-122.

D. SLOVENEC, i V. BERMANEC. (2006): Sistematska mineralogija-mineralogija silikata, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Manualia Universitatis Studiorum Zagrabiensis, Zagreb, 359 str.

SLOVENEC, D. i LUGOVIĆ, B. (2012): Dokazi napredne faze riftovanja u istočnom dijelu Tetis-Repno oceana procijenjeno prema petrologiji i geokemiji N-MORB efuzivnih stijena ofiolitnog melanža planine Medvednice, Geol. Croatica,65/3, Zagreb, 435-446.

SMITH, S. A. i HISCOTT, R. N. (1987): Latest Precambrian to Early Cambrian basin evolution, Fortune Bay, Newfoundland fault–bounded basin to platform, Canadian Journal of Earth Sciences 21:1379–1392.

STARKEY, H.C., BLACKMON, P.D., HAUFF, P.L. (1984): The routine mineralogical analysis of clay-bearing samples, U.S. Geol. Surv. Bull., 31, 1563 str.

ŠIKIĆ, K. (1995): Geološki vodič Medvednice, Inst. geol. istr. i INA-Industrija nafte, Naftaplin, Zagreb, 199 str.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta 1:100 000, tumač za list Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 81 str.

VRSALJKO, D., PAVELIĆ, D., MIKNIĆ, M., BRKIĆ, M., KOVAČIĆ, M., HEĆIMOVIĆ, I., HAJEK-TADESSE, V., AVANIĆ, R., KURTANJEK, N. (2006): Srednjemiocenska (gornji baden/sarmat) paleoekologija i evolucija okoliša na području planine Medvednice (sjeverna Hrvatska), Geol. Croatica, 59/11, 51-63.

WARR, N.L. (2020): Recommended abbreviations for the names of clay minerals and associated phases, Cambridge University Press, Clay Minerals 55, 261-264.

WHITE, W.A. (1949): Atterberg Plastic Limits of Clay Minerals, American Mineralogist 34, 508-512.

Neobjavljeni izvori:

MIHALIĆ, S. (2007): Osnove inženjerske geologije, skripta, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 68 str.

Internetski izvori:

[1] https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clays/kaogr.htm

[2] https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clay.htm

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Illite_crystallinity

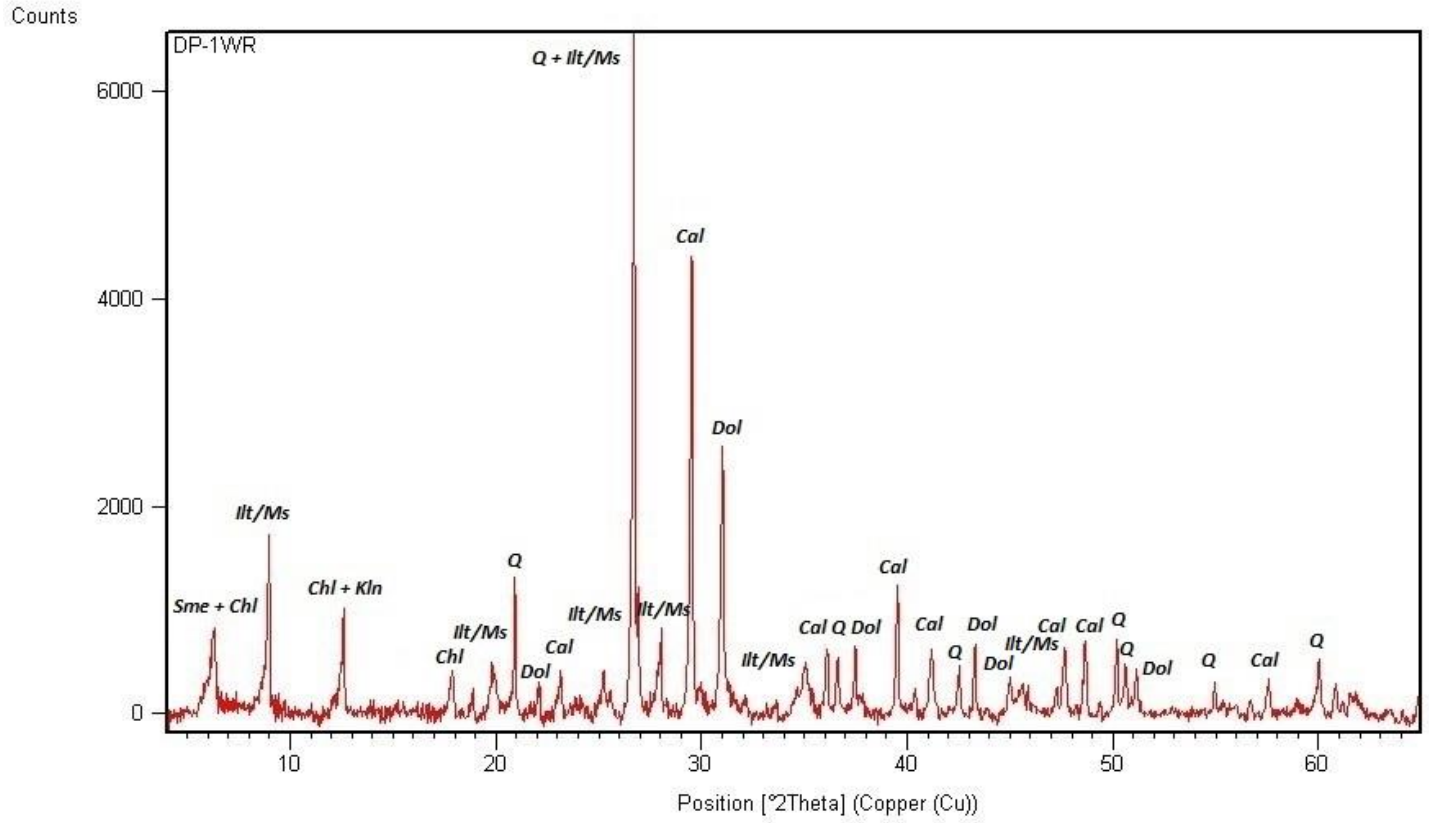
[4] https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clays/smc.htm

[5] https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clays/chlor.htm

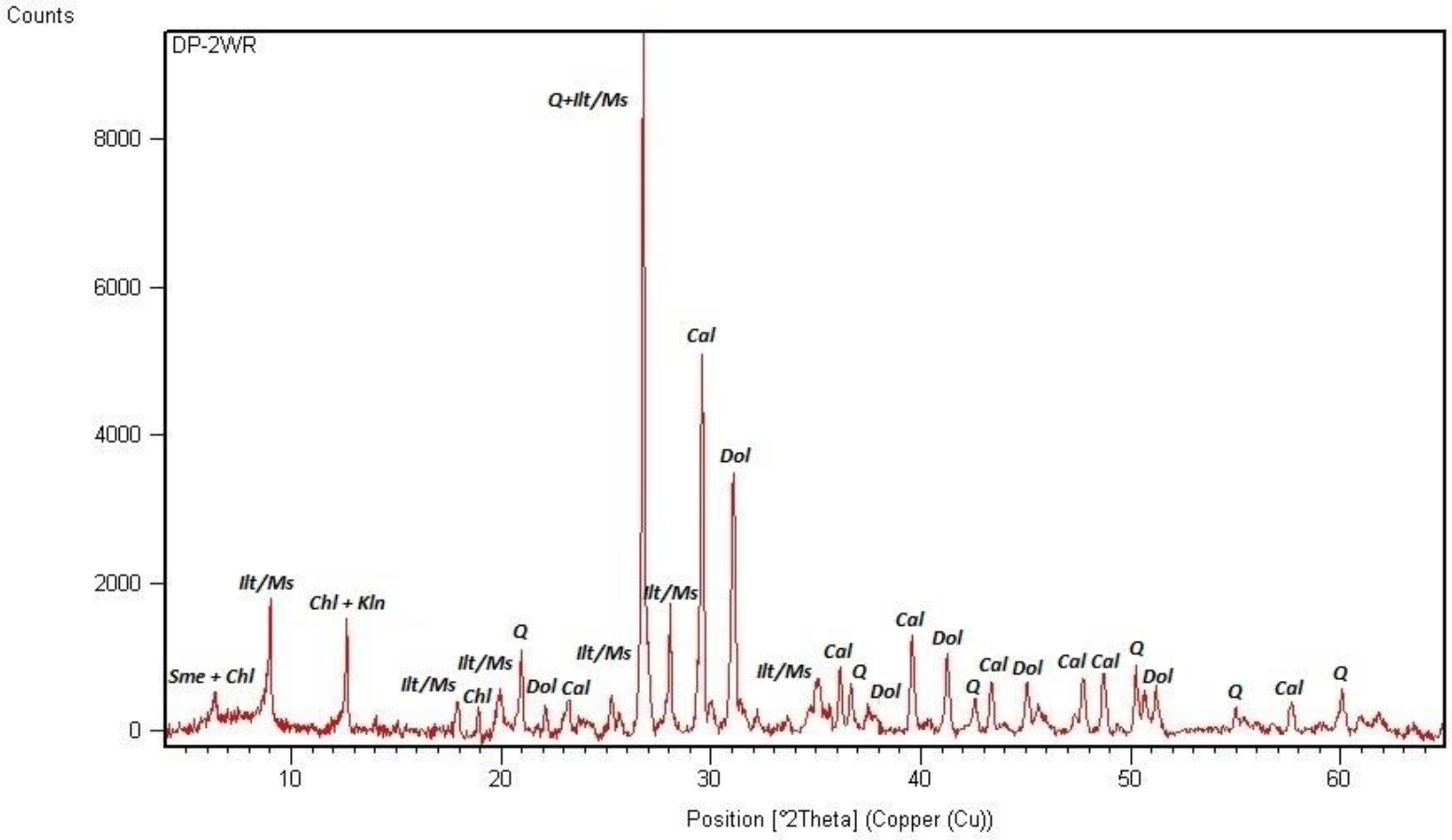
[6] https://www.geoengineer.org/index.php/education/laboratory-testing/atterberg-limits

8. Prilozi

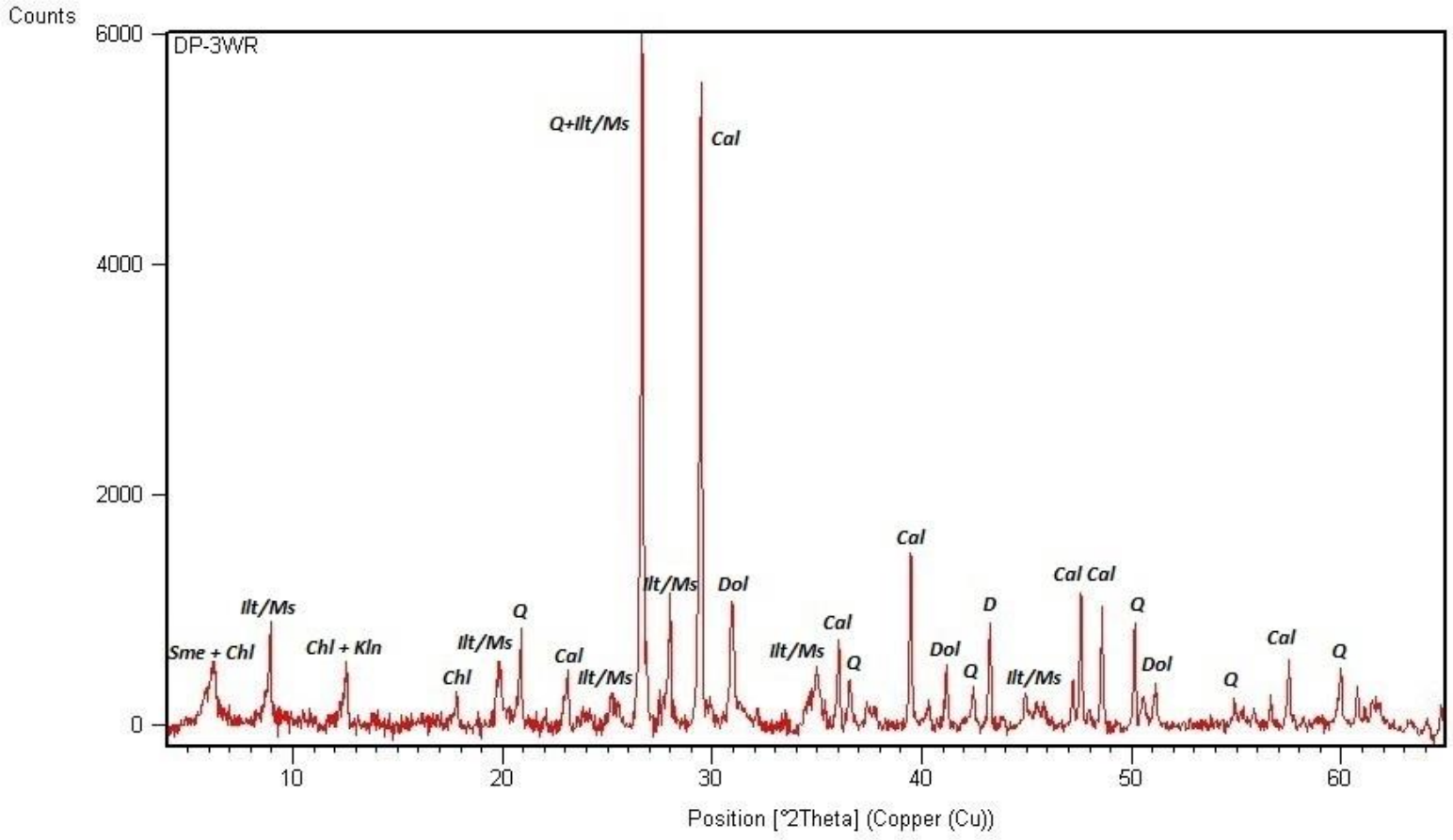
Prilog 1.1. Cijelostijenski difraktogram uzorka DP-1 s kraticama za prisutne minerale: *Sme* – smektit, *Chl*- klorit, *Ilt/Ms*- illit/muskovit, *Kln*- kaolinit, *Q*- kvarc, *Cal*- kalcit, *Dol*- dolomit; kratice minerala označene su prema Warr, (2020).



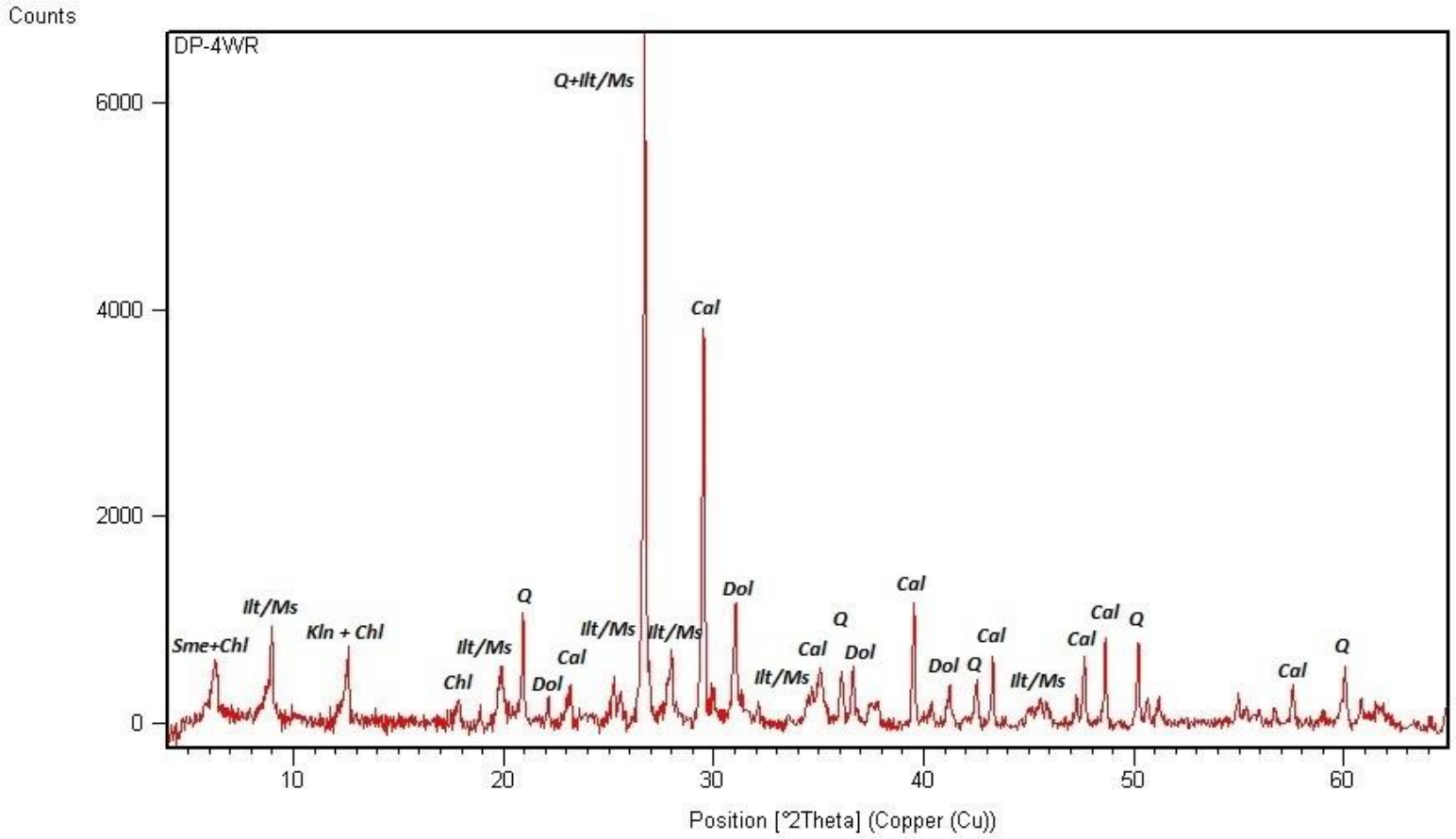
Prilog 1.2. Cijelostijenski difraktogram uzorka DP-2 s kraticama za prisutne minerale: *Sme* – smektit, *Chl*- klorit, *Ilt/Ms*- illit/muskovit, *Kln*- kaolinit, *Q*- kvarc, *Cal*- kalcit, *Dol*- dolomit; kratice minerala označene su prema Warr, (2020).



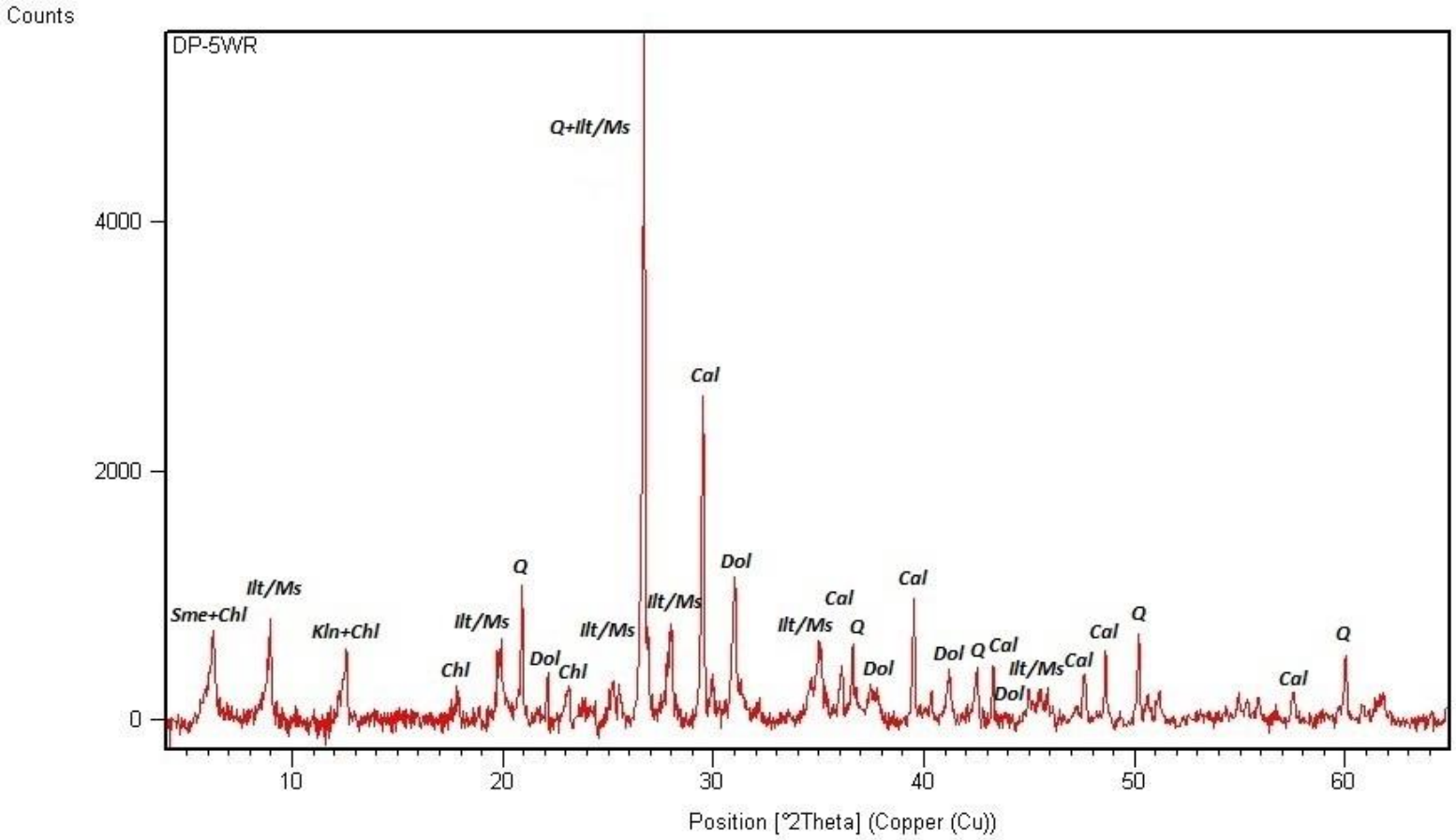
Prilog 1.3. Cijelostijenski difraktogram uzorka DP-3 s kraticama za prisutne minerale: *Sme* – smektit, *Chl*- klorit, *Ilt/Ms*- illit/muskovit, *Kln*- kaolinit, *Q*- kvarc, *Cal*- kalcit, *Dol*- dolomit; kratice minerala označene su prema Warr, (2020).



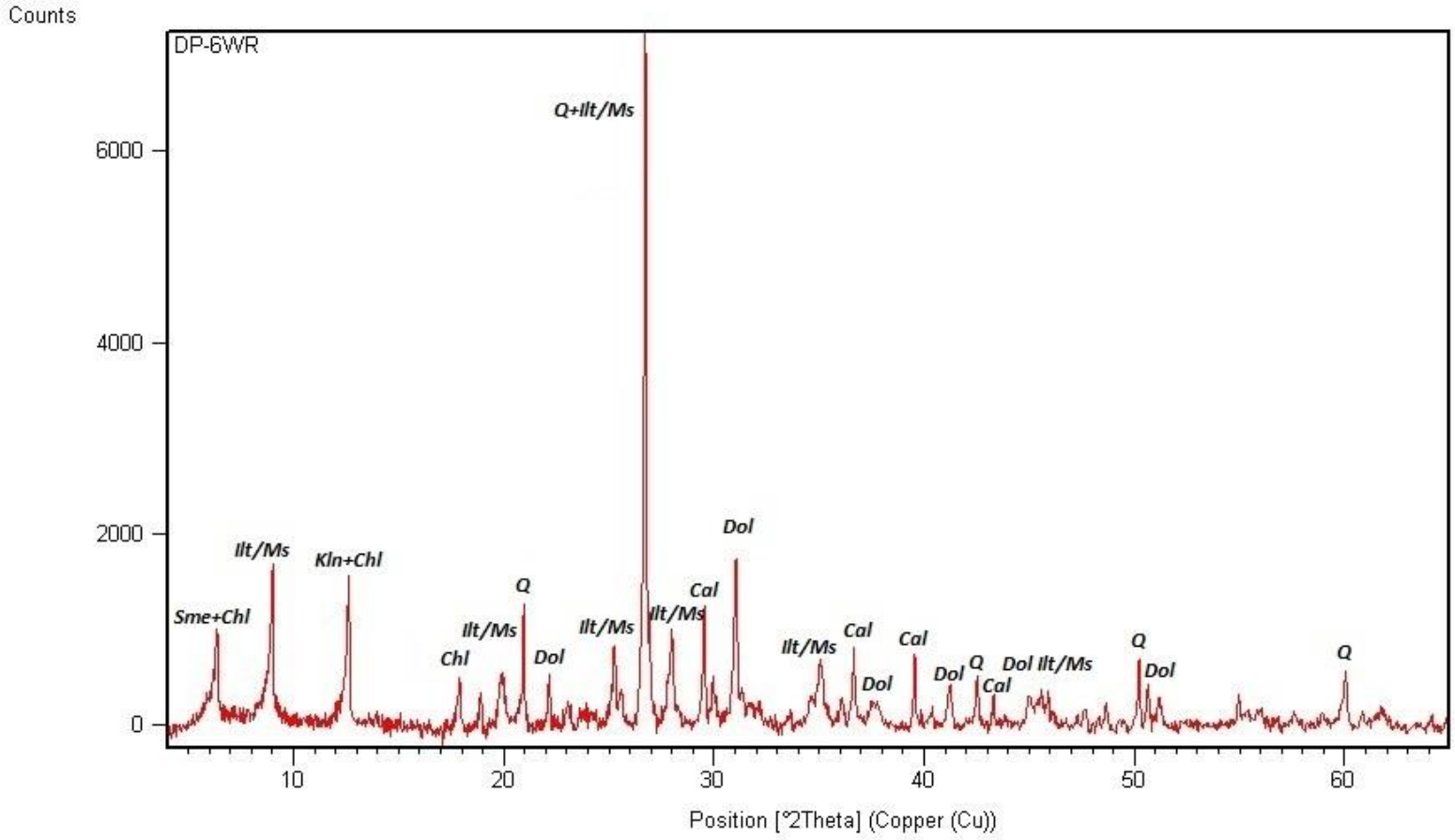
Prilog 1.4. Cijelostijenski difraktogram uzorka DP-4 s kraticama za prisutne minerale: *Sme* – smektit, *Chl*- klorit, *Ilt/Ms*- illit/muskovit, *Kln*- kaolinit, *Q*- kvarc, *Cal*- kalcit, *Dol*- dolomit; kratice minerala označene su prema Warr, (2020).



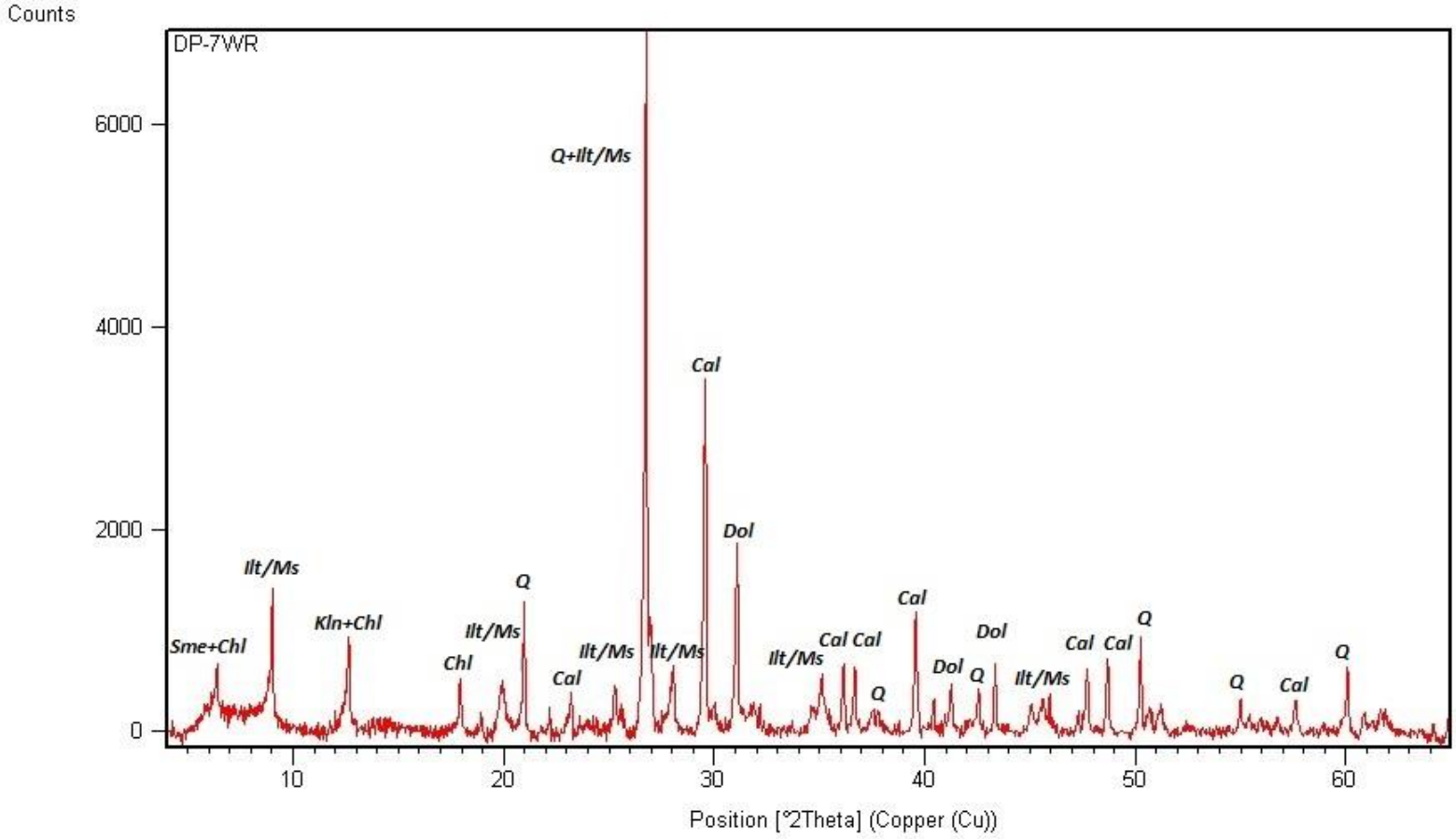
Prilog 1.5. Cijelostijenski difraktogram uzorka DP-5 s kraticama za prisutne minerale: *Sme* – smektit, *Chl*- klorit, *Ilt/Ms*- illit/muskovit, *Kln*- kaolinit, *Q*- kvarc, *Cal*- kalcit, *Dol*- dolomit; kratice minerala označene su prema Warr, (2020).



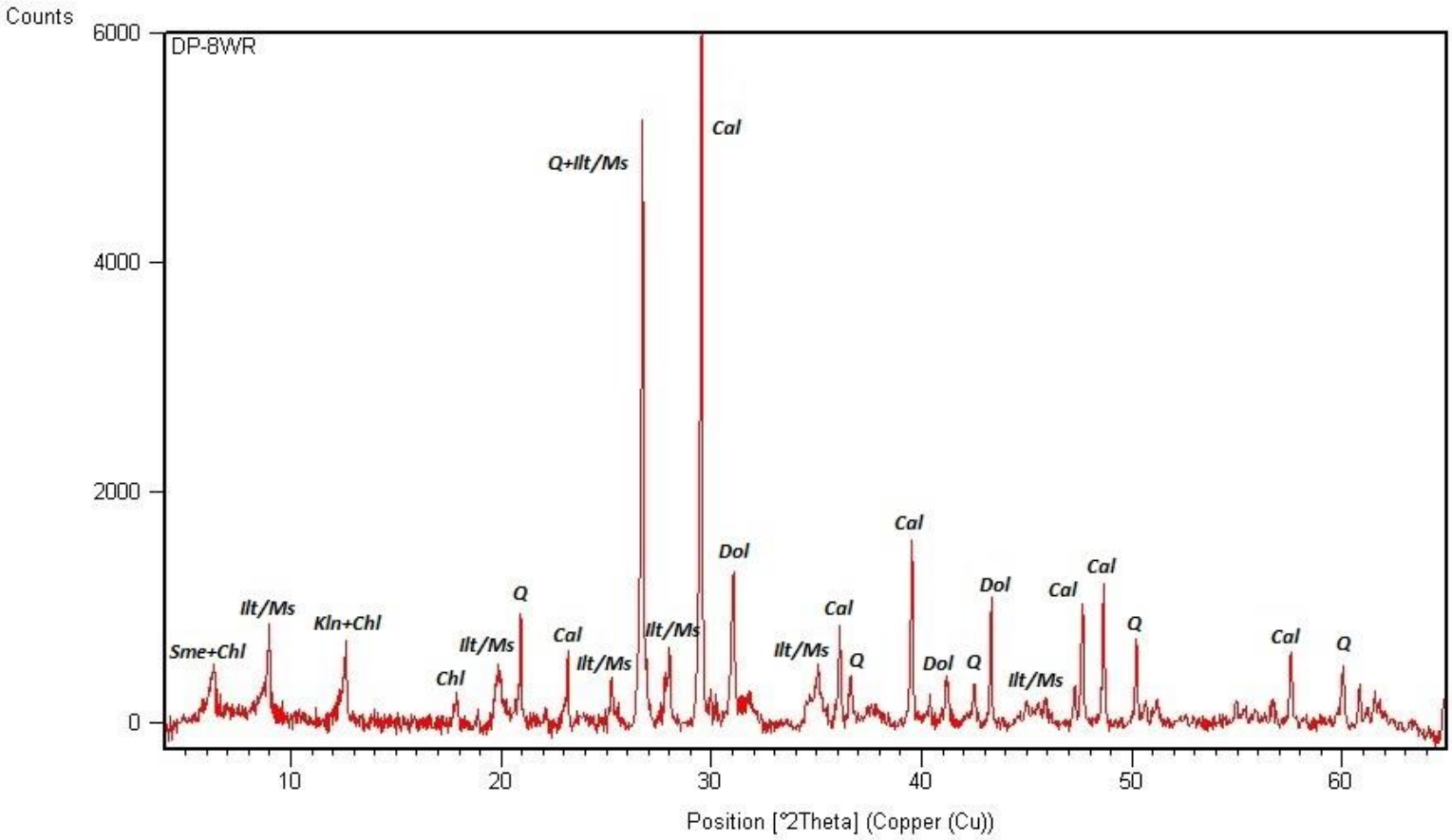
Prilog 1.6. Cijelostijenski difraktogram uzorka DP-6 s kraticama za prisutne minerale: *Sme* – smektit, *Chl*- klorit, *Ilt/Ms*- illit/muskovit, *Kln*- kaolinit, *Q*- kvarc, *Cal*- kalcit, *Dol*- dolomit; kratice minerala označene su prema Warr, (2020).



Prilog 1.7. Cijelostijenski difraktogram uzorka DP-7 s kraticama za prisutne minerale: *Sme* – smektit, *Chl*- klorit, *Ilt/Ms*- illit/muskovit, *Kln*- kaolinit, *Q*- kvarc, *Cal*- kalcit, *Dol*- dolomit; kratice minerala označene su prema Warr, (2020).



Prilog 1.8. Cijelostijenski difraktogram uzorka DP-8 s kraticama za prisutne minerale: *Sme* – smektit, *Chl*- klorit, *Ilt/Ms*- illit/muskovit, *Kln*- kaolinit, *Q*- kvarc, *Cal*- kalcit, *Dol*- dolomit; kratice minerala označene su prema Warr, (2020).



Prilog 2.1. Podaci o međumrežnom razmaku (d), kutu difrakcije (°2Θ), relativnim intenzitetima, prisutnim mineralima glina i indeksima mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano za uzorak DP-1.

d (Å) AD	°2Θ	Irel (%)	d (Å) EG bubrenje	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 400	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 550	°2Θ	Irel (%)	d (Å) Mg	°2θ	Irel (%)	d (Å) Mg bubrenje	°2θ	Irel (%)	Mineral	hkl
15,143	5,8336	63,98	17,423	4,9767	79,09	9,9010	8,9243	100	9,9087	8,9247	100	15,145	5,8307	78,84	18,004	4,9044	49,05	**smektit**	**(001)**
14,011	6,3032	94,89	13,957	6,328	18,93	14,186	6,2255	4,16	14,079	6,2780	8,43	14,217	6,2117	86,07	14,260	6,193	20,52	**klorit**	**(001)**
9,8924	8,9321	92,95	9,8878	8,9362	75,44	9,9010	8,9243	100	9,9087	8,9247	100	9,9675	8,8646	54,90	10,015	8,823	69,46	**illit/muskovit**	**(001)**
7,1122	12,436	40,23	7,1114	12,437	27,54	/	/	/	/	/	/	7,1681	12,338	32,63	/	/	/	**kaolinit**	**(001)**
7,0244	12,592	41,28	7,0225	12,595	32,32	7,0281	12,585	18,44	7,0577	12,542	6,76	7,0725	12,505	37,25	7,0953	12,465	35,71	**klorit**	**(002)**
4,9716	17,827	44,87	4,9667	17,844	21,14	4,9672	17,843	28,51	4,9768	17,822	29,04	4,9868	17,772	35,11	5,0080	17,696	22,67	**illit/muskovit**	**(002)**
4,6900	18,906	10,27	4,6881	18,914	7,08	4,7012	18,861	6,44	4,6993	18,884	1,64	4,7058	18,842	6,85	4,7238	18,769	8,08	**klorit**	**(003)**
3,5684	24,9324	24,95	3,5685	24,9319	16,94	3,5694	24,926	11,9	/	/	/	3,5769	24,872	23,46	3,5855	24,812	22,08	**kaolinit**	**(002)**
3,5237	25,255	31,09	3,5264	25,235	24,58	3,5225	25,263	13,14	3,5226	25,130	1,42	3,5352	25,170	23,74	3,5482	25,077	27,88	**klorit**	**(004)**
3,3366	26,696	100	3,3158	26,866	80,57	3,3138	26,883	56,32	3,3161	26,886	62,06	3,3234	26,803	49,11	3,3496	26,591	100	**illit/muskovit + kvarc**	**(003)**

Prilog 2.2 Podaci o međumrežnom razmaku (d), kutu difrakcije (°2Θ), relativnim intenzitetima, prisutnim mineralima glina i indeksima mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano za uzorak DP-2.

d (Å) AD	°2Θ	Irel (%)	d (Å) EG bubrenje	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 400	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 550	°2Θ	Irel (%)	d (Å) Mg	°2θ	Irel (%)	d (Å) Mg bubrenje	°2θ	Irel (%)	Mineral	hkl
14,938	5,9167	33,65	17,523	5,0389	86,84	9,9020	8,9234	100	9,8714	8,9511	100	13,9615	6,3256	70,93	17,221	5,1273	48,36	**smektit**	**(001)**
13,960	6,3315	63,95	16,377	5,3919	85,38	14,0542	6,2838	5,85	14,1171	6,2558	5,59	13,9615	6,3256	70,93	15,065	5,8619	9,36	**klorit**	**(001)**
9,8940	8,9380	100	9,8807	8,9427	100	9,9020	8,9234	100	9,8714	8,9511	100	9,8212	8,9970	63,06	9,8900	8,9342	100	**illit/muskovit**	**(001)**
7,1247	12,424	30,63	/	/	/	7,1372	12,3917	18,04	/	/	/	/	/	/	7,197	12,288	12,90	**kaolinit**	**(001)**
7,0230	12,605	33,6	7,0214	12,597	24,58	/	/	/	7,0386	12,566	6,16	6,9832	12,666	20,41	7,0130	12,612	20,77	**klorit**	**(002)**
4,9712	17,843	24,93	4,9731	17,821	21,23	4,9678	17,8406	20,56	4,9708	17,8295	22,57	4,9520	17,898	26,02	4,9465	17,917	13,88	**illit/muskovit**	**(002)**
4,6840	18,784	2,46	4,6989	18,870	4,32	/	/	/	/	/	/	4,6958	18,883	6,40	4,7070	18,837	9,41	**klorit**	**(003)**
3,5710	24,935	12,21	3,5636	24,966	10,59	3,5609	24,985	5,82	/	/	/	3,5603	24,991	11,98	3,5714	24,911	11,88	**kaolinit**	**(002)**
3,5303	25,228	18,49	3,5237	25,254	13,39	3,5228	25,2605	5,84	3,5339	25,1801	1,16	3,5175	25,300	14,16	3,5235	25,256	26,4	**klorit**	**(004)**
3,3375	26,710	48,98	3,3349	26,709	83,56	3,3375	26,668	44,82	3,3360	29,525	52,12	3,3286	26,761	100	3,3358	26,702	74,85	**illit/muskovit + kvarc**	**(003)**

Prilog 2.3 Podaci o međumrežnom razmaku (d), kutu difrakcije (°2Θ), relativnim intenzitetima, prisutnim mineralima glina i indeksima mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano za uzorak DP-3.

d (Å) AD	°2Θ	Irel (%)	d (Å) EG bubrenje	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 400	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 550	°2Θ	Irel (%)	d (Å) Mg	°2θ	Irel (%)	d (Å) Mg bubrenje	°2θ	Irel (%)	Mineral	hkl
15,765	5,6012	35,12	16,328	5,4081	79,29	9,8917	8,9326	100	9,2774	9,5255	100	14,082	6,2713	79,86	18,178	4,8571	54,91	**smektit**	**(001)**
13,986	6,3142	70,19	14,007	6,3049	6,37	14,2492	6,1978	3,95	13,834	6,3840	3,75	14,082	6,2713	79,86	14,000	6,3232	20,33	**klorit**	**(001)**
9,9056	8,9201	57,41	9,8775	8,9456	52,72	9,8917	8,9326	100	9,2774	9,5255	100	9,9047	8,9209	51,05	9,8943	8,9303	56,62	**illit/muskovit**	**(001)**
7,1559	12,359	17,32	7,2948	12,123	6,87	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	**kaolinit**	**(002)**
7,0325	12,577	23,88	7,0273	12,586	18,52	7,0274	12,586	18,41	7,0748	12,501	4,51	7,0288	12,584	28,84	7,0355	12,571	26,72	**klorit**	**(002)**
4,9667	17,844	13,92	4,9653	17,850	10,35	4,9745	17,798	17,64	4,9594	17,871	14,15	4,9821	17,789	23,88	4,9800	17,796	15,27	**illit/muskovit**	**(002)**
4,6972	18,877	4,00	4,6888	18,915	2,84	4,6924	18,896	3,28	/	/	/	4,7053	18,845	8,35	4,7049	18,846	5,41	**klorit**	**(003)**
3,5620	24,978	7,7	3,5861	24,808	6,83	/	/	/	/	/	/	3,5642	24,962	12,16	3,5665	24,953	15,35	**kaolinit**	**(002)**
3,5241	25,251	14,38	3,5200	25,282	10,19	3,5247	25,247	10,16	3,5288	25,217	6,28	3,5273	25,228	15,77	3,5284	25,220	19,64	**klorit**	**(004)**
3,3361	26,700	53,85	3,3360	26,701	62,98	3,3358	26,706	53,98	3,3394	26,709	63,11	3,3369	26,694	72,86	3,3372	72,71	26,691	**illit/muskovit + kvarc**	**(003)**

Prilog 2.4 Podaci o međumrežnom razmaku (d), kutu difrakcije (°2Θ), relativnim intenzitetima, prisutnim mineralima glina i indeksima mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano za uzorak DP-4.

d (Å) AD	°2Θ	Irel (%)	d (Å) EG bubrenje	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 400	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 550	°2Θ	Irel (%)	d (Å) Mg	°2θ	Irel (%)	d (Å) Mg bubrenje	°2θ	Irel (%)	Mineral	hkl
13,982	6,3170	58,9	16,797	5,2568	73,72	9,8788	8,9443	100	9,8769	8,9461	100	14,081	57,73	6,277	17,642	6,2613	24,9	**smektit**	**(001)**
13,982	6,3170	58,9	13,955	6,3284	23,31	13,953	6,3293	13,81	13,961	6,3860	12,63	14,081	57,73	6,277	14,105	6,9242	16,78	**klorit**	**(001)**
9,8951	8,9296	100	9,8776	8,9455	98,1	9,8788	8,9443	100	9,8769	8,9461	100	9,8802	8,9505	46,43	9,9207	8,9065	46,17	**illit/muskovit**	**(001)**
7,0305	12,580	56,12	7,0255	12,59	54,32	7,0272	12,586	38,89	7,0481	12,549	19,52	7,0293	12,593	43,52	7,0532	12,54	40,65	**klorit + kaolinit**	**(002); (001)**
4,9700	17,8350	27,67	4,9675	17,842	25,1	4,9620	17,861	22,69	4,9610	17,865	22,64	4,9709	17,844	27,05	4,9792	17,799	14,15	**illit/muskovit**	**(002)**
4,6943	18,888	11,7	4,6966	18,879	13,63	4,6905	18,905	8,36	4,7123	18,816	4,96	4,700	18,882	11,59	4,6935	18,892	5,34	**klorit**	**(003)**
3,5770	24,871	9,91	3,5667	24,944	11,67	3,5637	24,966	8,79	/	/	/	3,5726	24,941	14,66	3,5820	24,836	11,6	**kaolinit**	**(002)**
3,5226	25,262	29,36	3,5261	25,237	30,75	3,5265	25,234	19,17	3,5304	25,206	7,54	3,5206	25,298	19,94	3,5311	25,201	25,19	**klorit**	**(004)**
3,3580	26,702	81,45	3,3349	26,709	100	3,3349	26,710	65,48	3,3358	26,702	64,58	3,3368	26,717	100	3,3396	26,671	100	**illit/muskovit +kvarc**	**(003)**

Prilog 2.5 Podaci o međumrežnom razmaku (d), kutu difrakcije (°2Θ), relativnim intenzitetima, prisutnim mineralima glina i indeksima mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano za uzorak DP-5.

d (Å) AD	°2Θ	Irel (%)	d (Å) EG bubrenje	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 400	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 550	°2Θ	Irel (%)	d (Å) Mg	°2θ	Irel (%)	d (Å) Mg bubrenje	°2θ	Irel (%)	Mineral	hkl
14,485	6,0967	40,06	16,658	5,3008	73,26	9,8916	8,9327	100	9,8694	8,9528	100	13,989	6,3128	100	18,618	4,7423	16,36	**Smektit**	**(001)**
14,001	6,3074	54,84	14,033	6,2931	12,18	13,952	6,3297	8,97	14,045	6,2878	3,98	13,989	6,3128	100	14,599	6,0491	17,15	**Klorit**	**(001)**
9,8993	8,9257	100	9,9039	8,9216	100	9,8916	8,9327	100	9,8694	8,9528	100	9,885	8,9387	89,37	10,254	10,254	85,36	**illit/muskovit**	**(001)**
7,0304	12,580	32,78	7,0636	12,521	28,19	7,0225	12,594	21	/	/	/	7,0271	12,586	52,73	7,2027	12,278	35,68	**klorit + kaolinit**	**(002); (001)**
4,9646	17,852	20,57	4,9603	17,867	15,09	4,9650	17,850	13,78	4,9586	17,873	19,06	4,9585	17,874	26,69	4,9531	17,893	5,36	**illit/muskovit**	**(002)**
4,71263	18,800	5,08	4,6884	18,912	5,61	4,6936	18,892	7,38	4,7004	18,864	5,58	4,7013	18,861	11,29	4,7726	18,576	14,46	**klorit**	**(003)**
3,5622	24,977	11,99	3,5669	24,944	13,39	3,5702	24,919	2,6	/	/	/	3,5661	24,949	12,54	3,5634	24,968	30,59	**kaolinit**	**(002)**
3,5240	25,252	18,94	3,5171	25,303	13,28	3,5205	25,277	4,12	/	/	/	3,5265	25,234	29,33	3,5635	24,968	30,59	**klorit**	**(004)**
3,3372	26,691	66,7	3,3373	26,690	74,98	3,3351	26,708	46,63	3,3334	26,7177	58,76	3,3350	26,708	85,49	3,3429	26,644	37,9	**illit/muskovit + kvarc**	**(003)**

Prilog 2.6 Podaci o međumrežnom razmaku (d), kutu difrakcije (°2Θ), relativnim intenzitetima, prisutnim mineralima glina i indeksima mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano za uzorak DP-6.

d (Å) AD	°2Θ	Irel (%)	d (Å) EG bubrenje	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 400	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 550	°2Θ	Irel (%)	d (Å) Mg	°2θ	Irel (%)	d (Å) Mg bubrenje	°2θ	Irel (%)	Mineral	hkl
14,060	6,2813	80,59	16,574	5,3276	73,97	9,9228	8,9046	100	9,8856	8,9381	100	14,063	6,2796	68,34	17,611	5,0137	31,54	**smektit**	**(001)**
14,060	6,2813	80,95	13,966	6,3235	43,94	14,083	6,2708	20,58	13,991	6,3121	22,44	14,063	6,2796	68,34	17,611	5,0137	31,54	**klorit**	**(001)**
9,8997	8,9254	100	9,8834	8,9402	100	9,9228	8,9046	100	9,8856	8,9381	100	9,9201	8,9070	90,62	9,8967	8,9281	89,74	**illit/muskovit**	**(001)**
7,5558	11,703	27,18	/	/	/	/	/	/	/	/	/	7,5516	11,7093	5,2	/	/	/	**gips**	**(020)**
7,0348	12,573	87,16	7,0289	12,583	84,58	7,0429	12,5582	47,17	7,0397	12,563	28,06	7,0459	12,5528	89,46	7,0327	12,577	84,48	**klorit+kaolinit**	**(002); (001)**
4,9950	17,743	18,89	4,9662	17,845	23,24	4,9803	17,7951	18,64	4,9596	17,869	20,48	4,9712	17,8279	39,5	4,9667	17,844	28,72	**illit/muskovit**	**(002)**
4,6919	18,898	14,79	4,7002	18,865	16,39	4,7064	18,839	10,24	4,7178	18,793	5,97	4,7074	18,836	24,06	4,6991	18,870	21,01	**klorit**	**(003)**
3,5332	25,185	33,82	3,5280	25,223	39,03	3,5317	25,196	23,23	3,5336	25,183	12,06	3,5296	25,211	54,41	3,5263	25,235	56,28	**klorit+kaolinit**	**(004); (002)**
3,3359	26,701	68,51	3,3354	26,705	80,82	3,3379	26,685	47,67	3,3356	26,704	51,19	3,3389	26,677	100	3,3363	26,698	100	**illit/muskovit + kvarc**	**(003)**

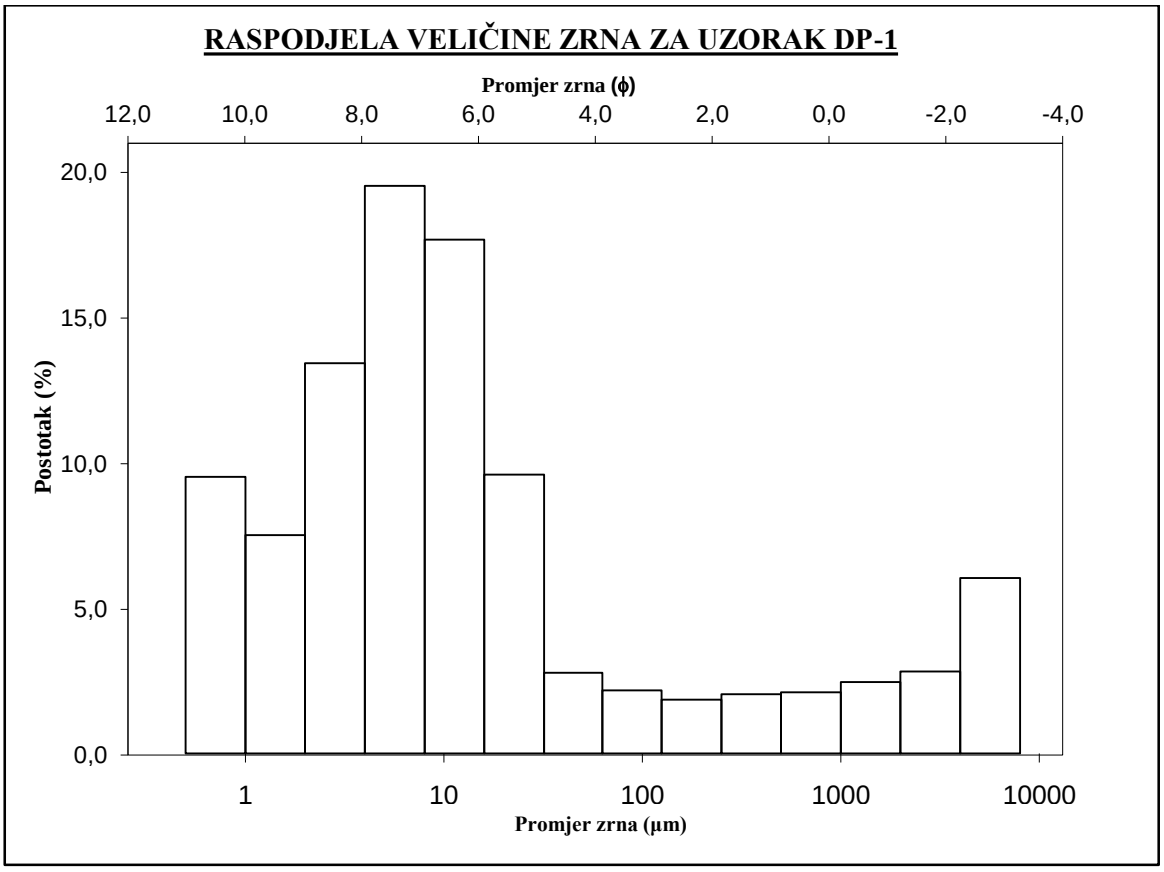
Prilog 2.7 Podaci o međumrežnom razmaku (d), kutu difrakcije (°2Θ), relativnim intenzitetima, prisutnim mineralima glina i indeksima mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano.

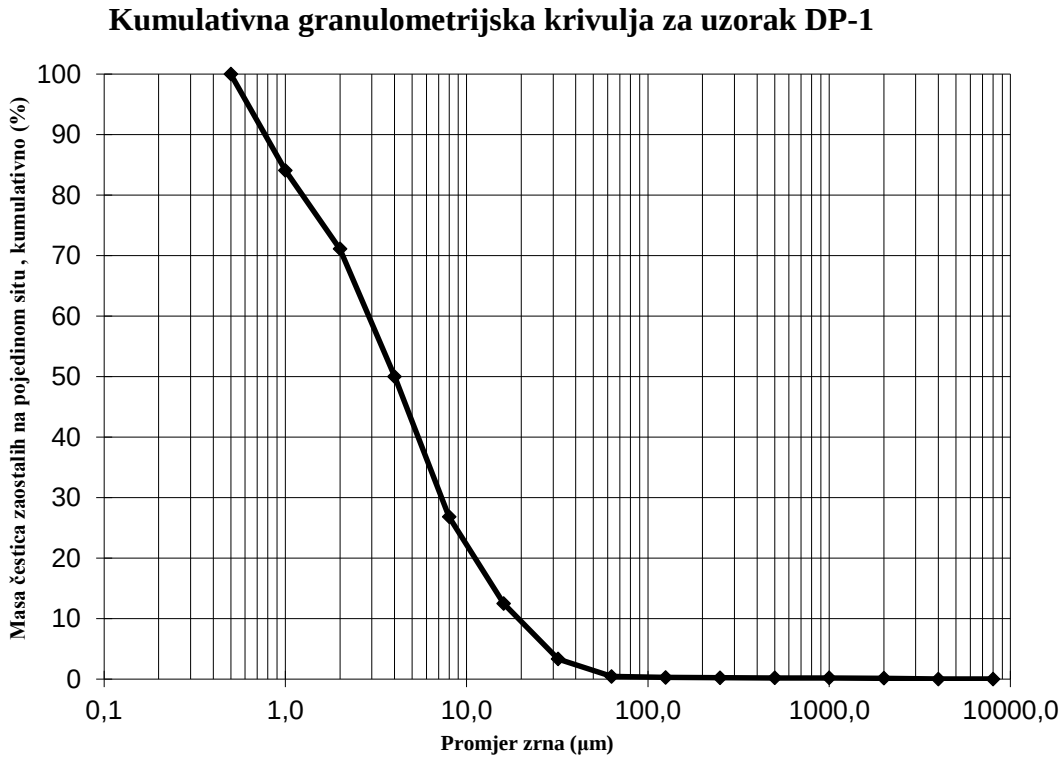
d (Å) AD	°2Θ	Irel (%)	d (Å) EG bubrenje	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 400	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 550	°2Θ	Irel (%)	d (Å) Mg	°2θ	Irel (%)	d (Å) Mg bubrenje	°2θ	Irel (%)	Mineral	hkl
13,963	6,3247	100	16,813	5,2521	100	9,9107	8,9155	100	9,8926	8,9318	100	14,145	6,2434	63,23	17,880	4,9382	45,69	**smektit**	**(001)**
13,963	6,3247	100	14,014	6,3014	10,4	14,002	6,3070	19,4	14,038	6,2908	8,8	14,145	6,2434	63,23	13,954	6,3288	8,2	**klorit**	**(001)**
9,9138	8,9127	89,18	9,9039	8,9216	53,44	9,9107	8,9155	100	9,8926	8,9318	100	9,9481	8,8819	55,44	9,9506	8,8796	63,73	**illit/muskovit**	**(001)**
7,0196	12,600	55,27	7,0261	12,588	23,64	7,0287	12,583	27,67	7,0478	12,55	15,1	7,0574	12,532	54,55	7,0539	12,539	49,97	**klorit+kaolinit**	**(002); (001)**
4,9739	17,818	19,63	4,9588	17,873	7,19	4,9767	17,808	15,52	4,9857	17,776	14,84	4,9792	17,799	30,43	4,9823	17,788	18,9	**illit/muskovit**	**(002)**
4,7081	18,832	8,36	4,7132	18,812	5,65	4,7338	18,729	7,27	4,7074	18,835	1,46	4,7135	18,811	14,01	4,7086	18,831	12,93	**klorit**	**(003)**
3,6077	24,657	9,58	3,5825	24,833	4,94	3,5556	25,024	9,46	/	/	/	3,5784	24,862	16,02	/	/	/	**kaolinit**	**(002)**
3,5209	25,275	26,53	3,5268	25,316	14,07	3,5297	25,210	15,64	3,5483	25,076	5,25	3,5330	25,187	36,37	3,5324	25,191	37,75	**klorit**	**(004)**
3,3379	26,685	63,65	3,3367	26,694	45,16	3,3356	26,704	34,85	3,3383	26,682	30,31	3,3413	26,656	100	3,3420	26,651	100	**illit/muskovit + kvarc**	**(003)**

Prilog 2.8 Podaci o međumrežnom razmaku (d), kutu difrakcije (°2Θ), relativnim intenzitetima, prisutnim mineralima glina i indeksima mrežnih ravnina s kojih je zračenje difraktirano za uzorak DP-8.

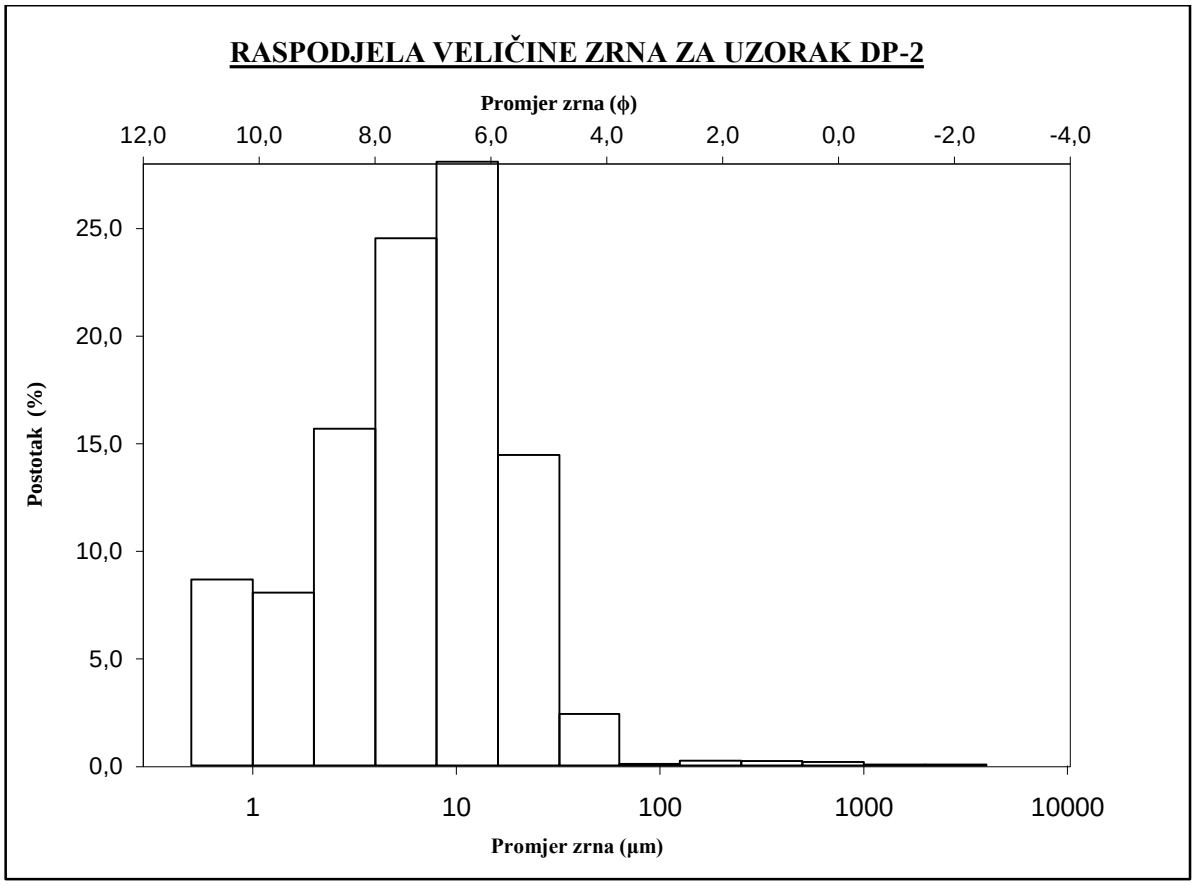
d (Å) AD	°2Θ	Irel (%)	d (Å) EG bubrenje	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 400	°2Θ	Irel (%)	d (Å) 550	°2Θ	Irel (%)	d (Å) Mg	°2θ	Irel (%)	d (Å) Mg bubrenje	°2θ	Irel (%)	Mineral	hkl
14,0075	6,3048	86,57	16,6202	5,3129	100	9,9019	8,9234	100	9,8744	8,9483	100	15,373	5,7444	55,57	18,099	4,8784	35,43	**smektit**	**(001)**
14,0075	6,3048	86,57	14,067	6,2782	9,66	13,960	6,3265	11,37	14,022	6,2982	8,50	14,004	6,3063	63,51	14,6135	6,0431	18,62	**klorit**	**(001)**
9,8903	8,9339	69,64	9,9063	8,9195	50,95	9,9019	8,9234	100	9,8744	8,9483	100	9,9052	8,9205	57,43	10,1630	8,6937	67,30	**illit/muskovit**	**(001)**
7,0221	12,595	54,78	7,0420	12,559	33,27	7,0241	12,591	31,74	7,0393	12,564	22,35	7,0411	12,561	58,44	7,1623	12,348	46,17	**klorit+kaolinit**	**(002)/(001)**
4,9747	17,815	31,02	4,9960	17,738	11,23	4,9601	17,868	19,3	4,9676	17,841	20,38	4,9773	17,805	39,09	5,0318	17,611	22,99	**illit/muskovit**	**(002)**
4,6973	18,877	11,39	4,9645	17,852	10,99	4,6879	18,915	5,07	4,7121	18,817	4,50	4,7015	18,860	10,14	4,7586	18,316	16,36	**klorit**	**(003)**
3,5826	24,8323	12,08	3,5776	24,867	12,17	3,5708	24,916	8,29	/	/	/	3,6146	24,609	10,00	3,6023	24,693	24,68	**kaolinit**	**(003)**
3,5229	25,259	27,23	3,5271	25,229	16,04	3,5307	25,203	14,94	3,5514	25,053	7,14	3,5271	24,962	22,84	3,5584	25,004	43,99	**klorit**	**(004)**
3,3350	26,709	92,09	3,3381	26,683	83,3	3,3353	26,706	69,69	3,3363	26,697	75,72	3,3376	26,477	100	3,3636	26,479	100	**illit/muskovit + kvarc**	**(003)**

Prilog 3.1 Histogram i granulometrijska krivulja za uzorak DP-1.

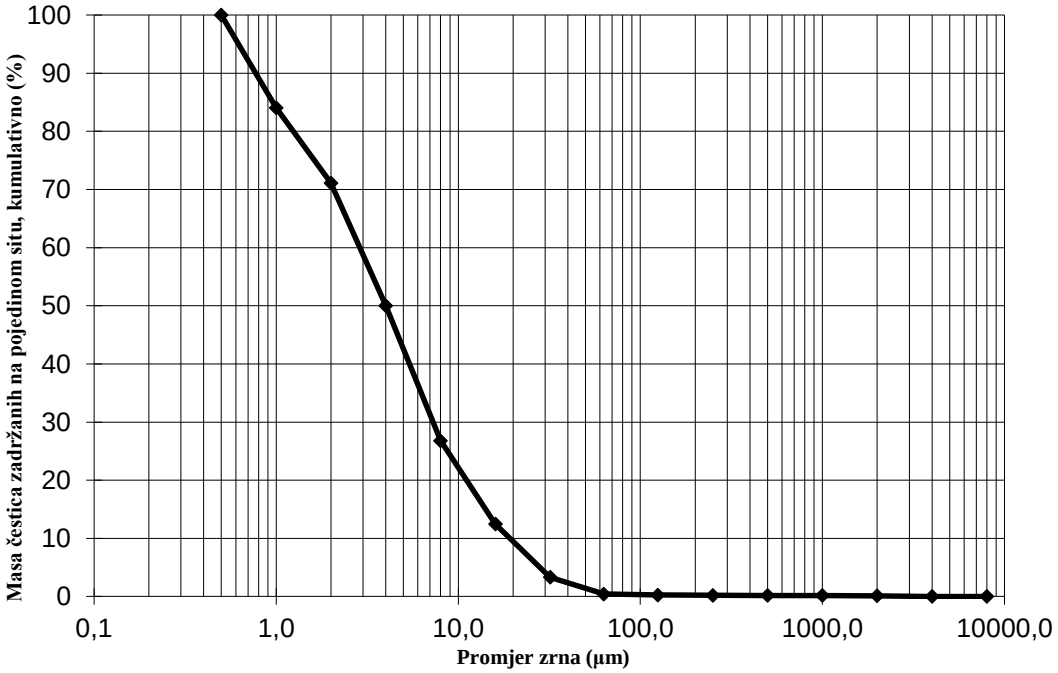




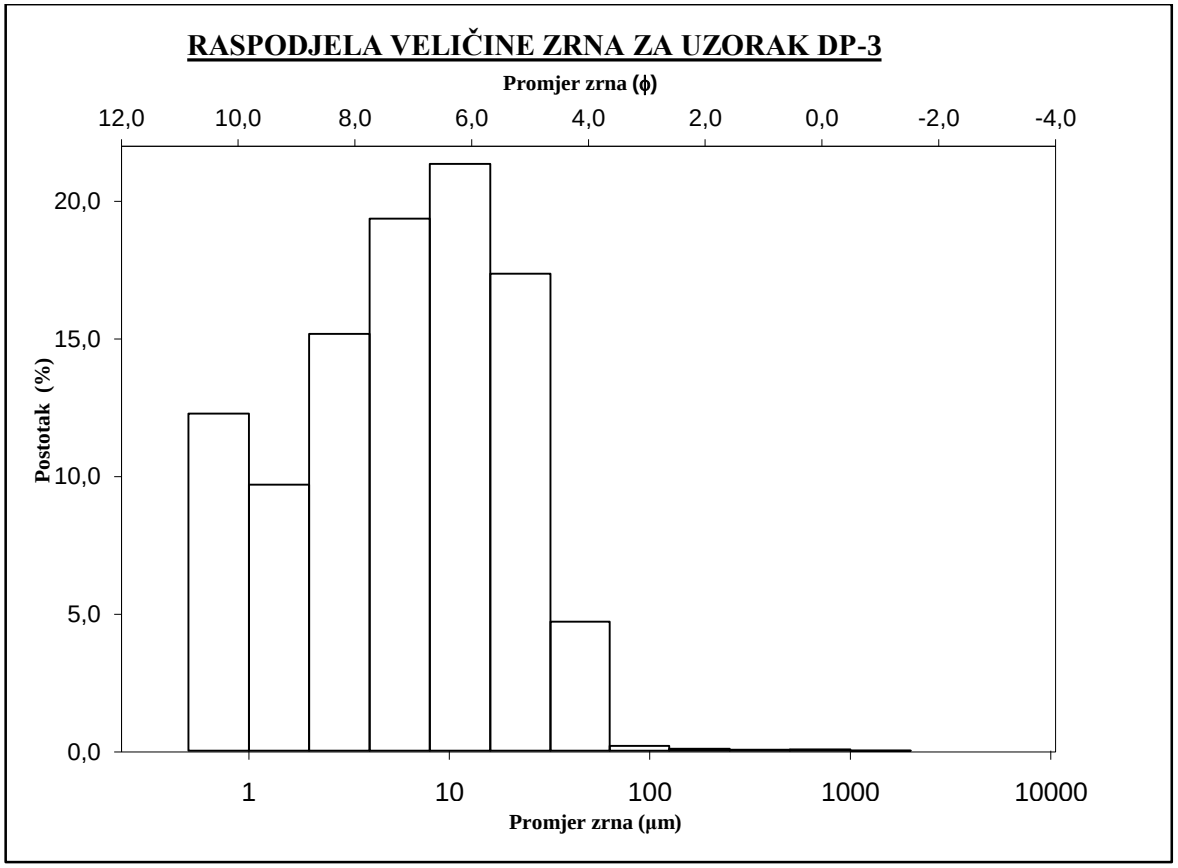
Prilog 3.2 Histogram i granulometrijska krivulja za uzorak DP-2.

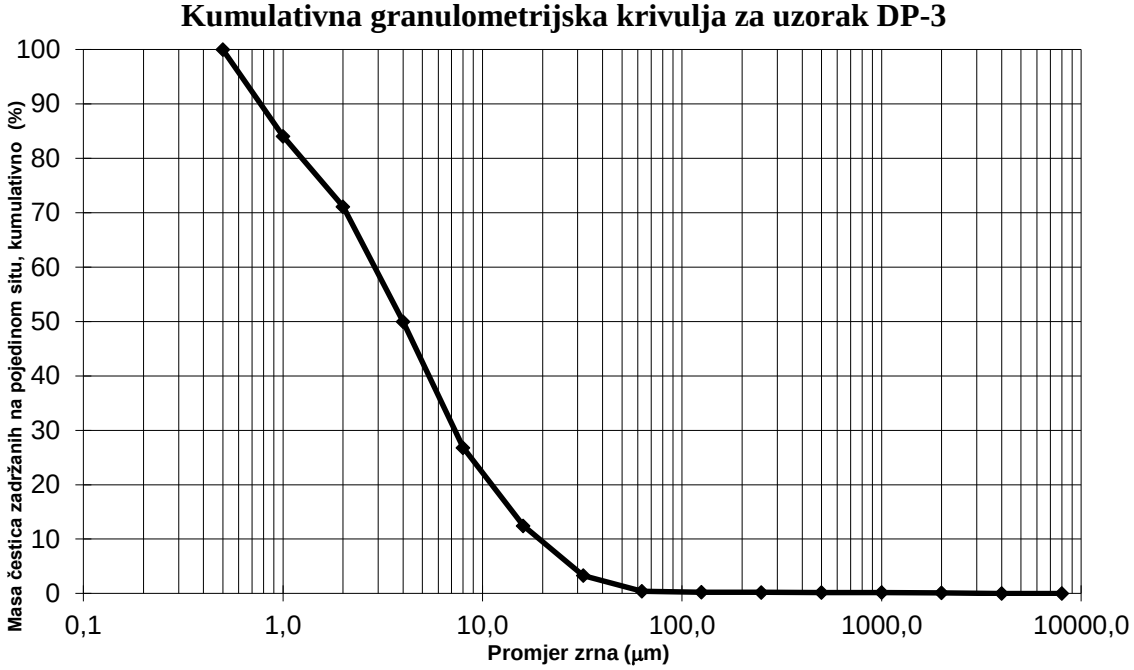


Kumulativna granulometrijska krivulja za uzorak DP-2

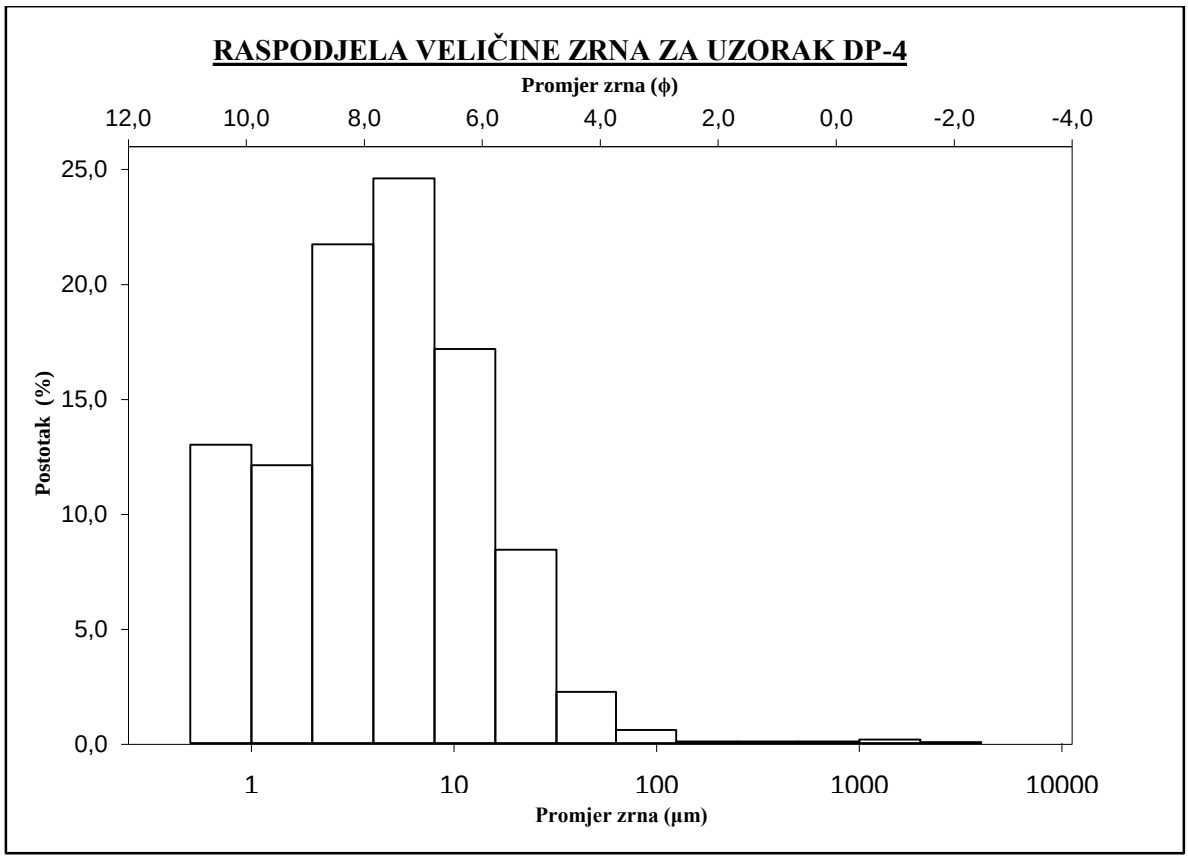


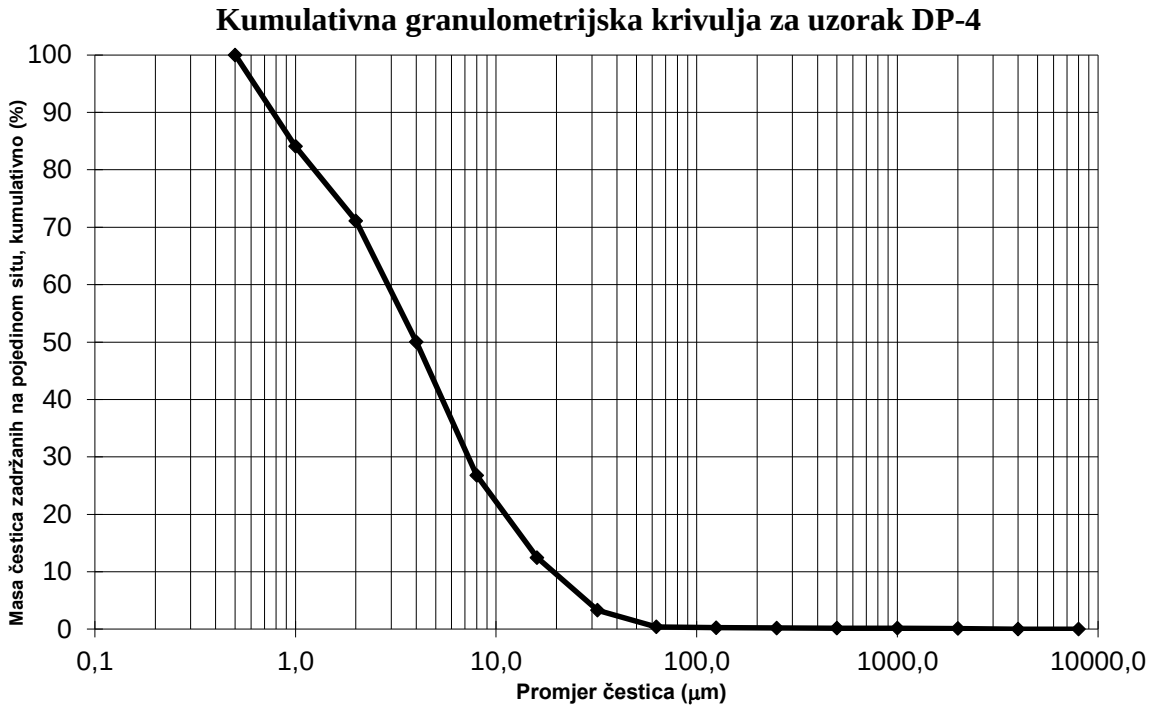
Prilog 3.3. Histogram i granlometrijska krivulja za uzorak DP-3.



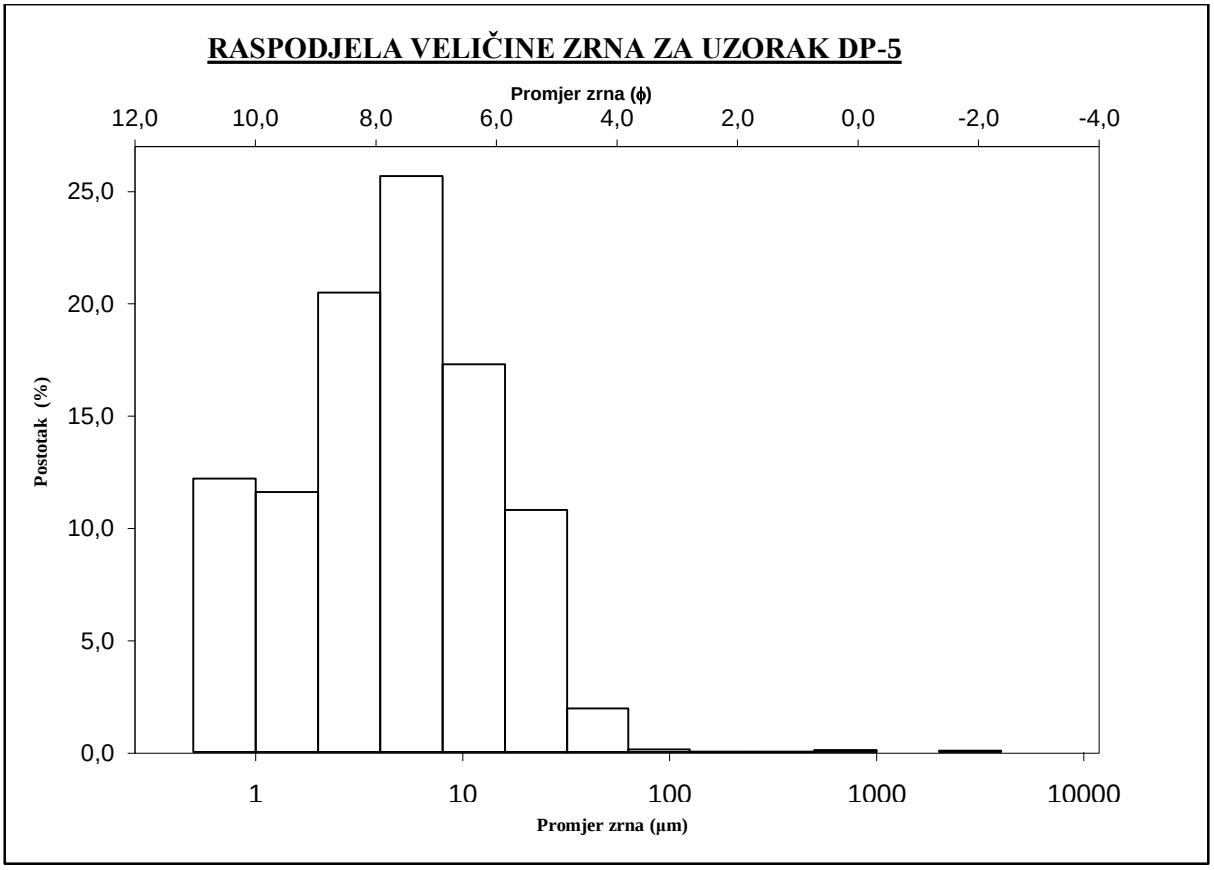


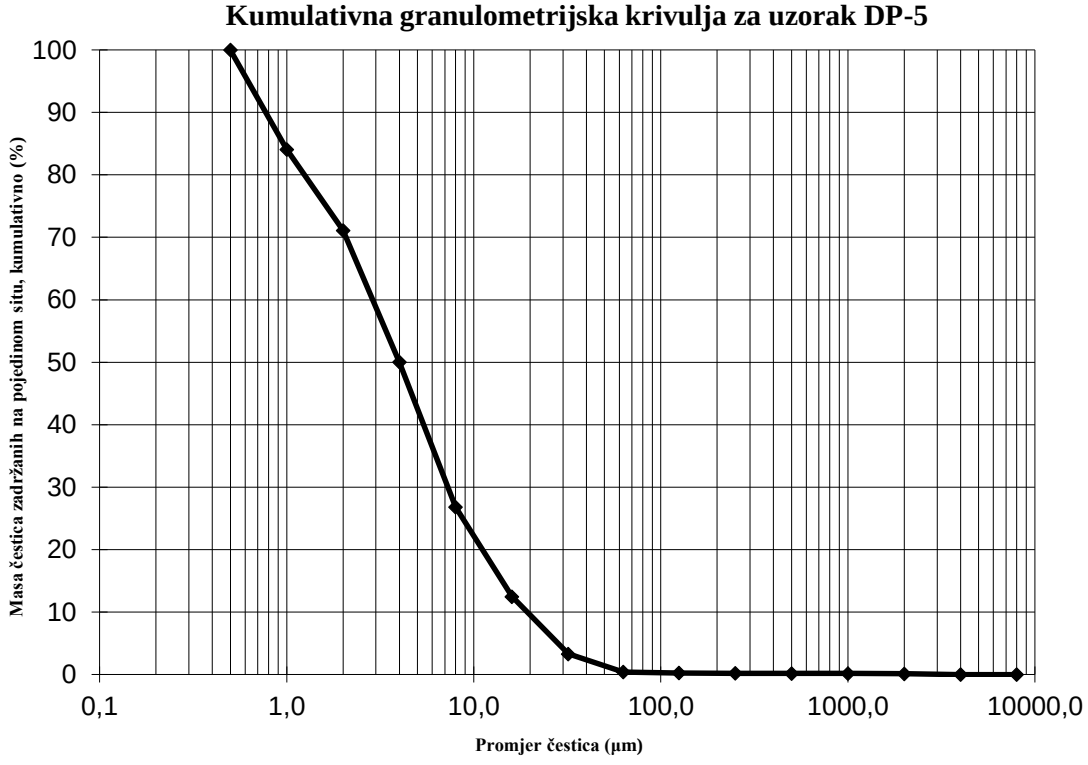
Prilog 3.4. Histogram i granulometrijska krivulja za uzorak DP-4.



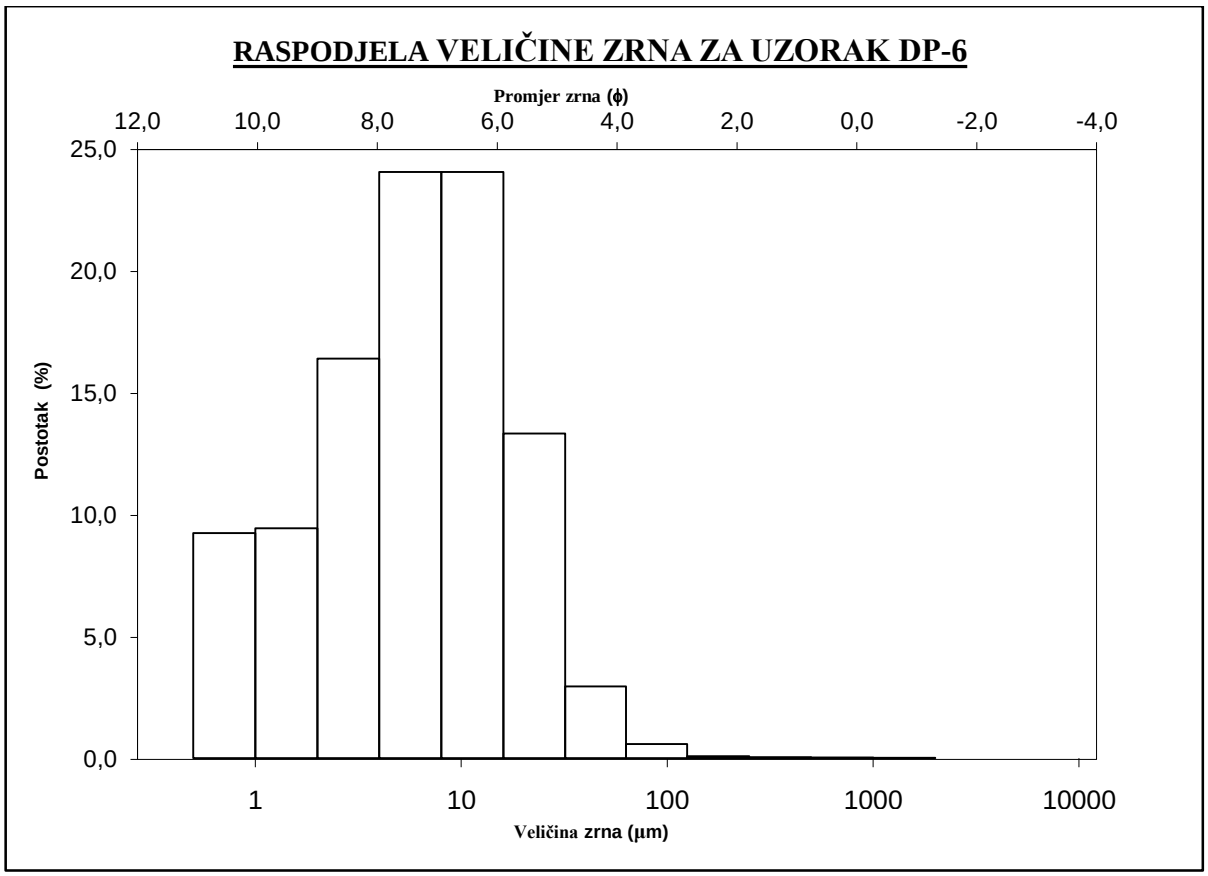


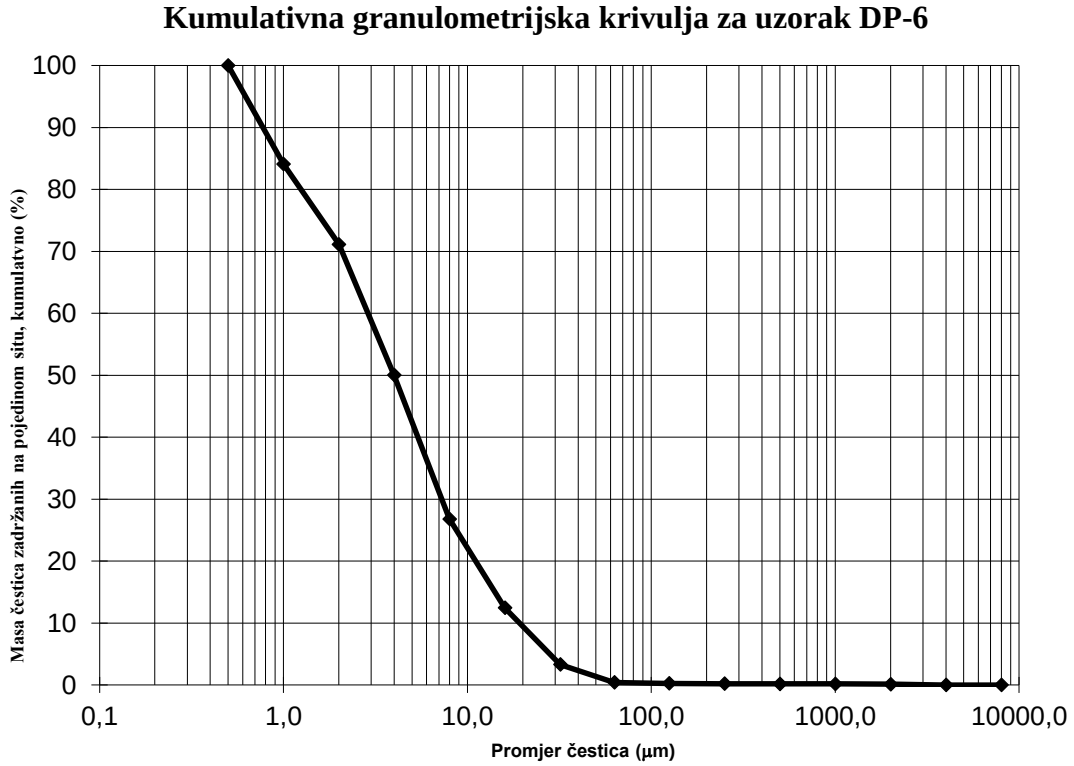
Prilog 3.5. Histogram i granulometrijska krivulja za uzorak DP-5.



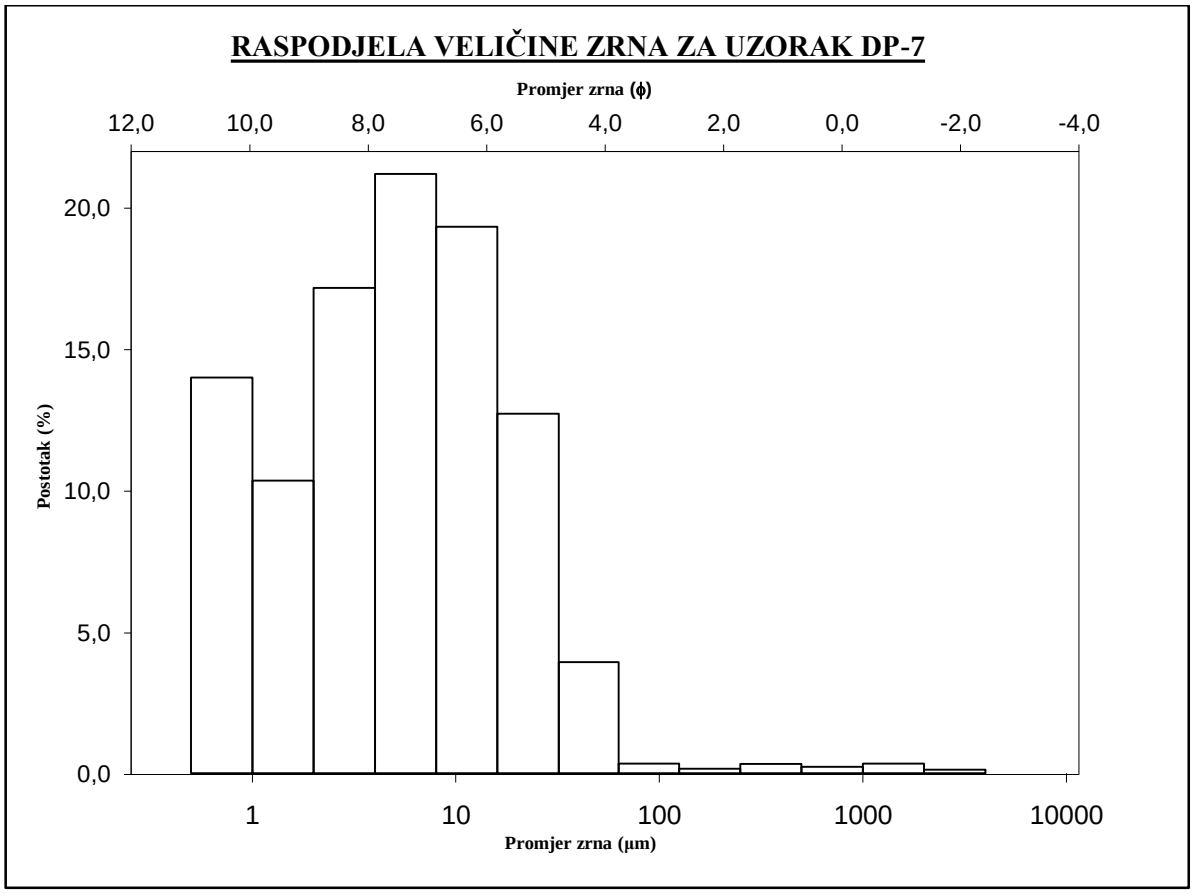


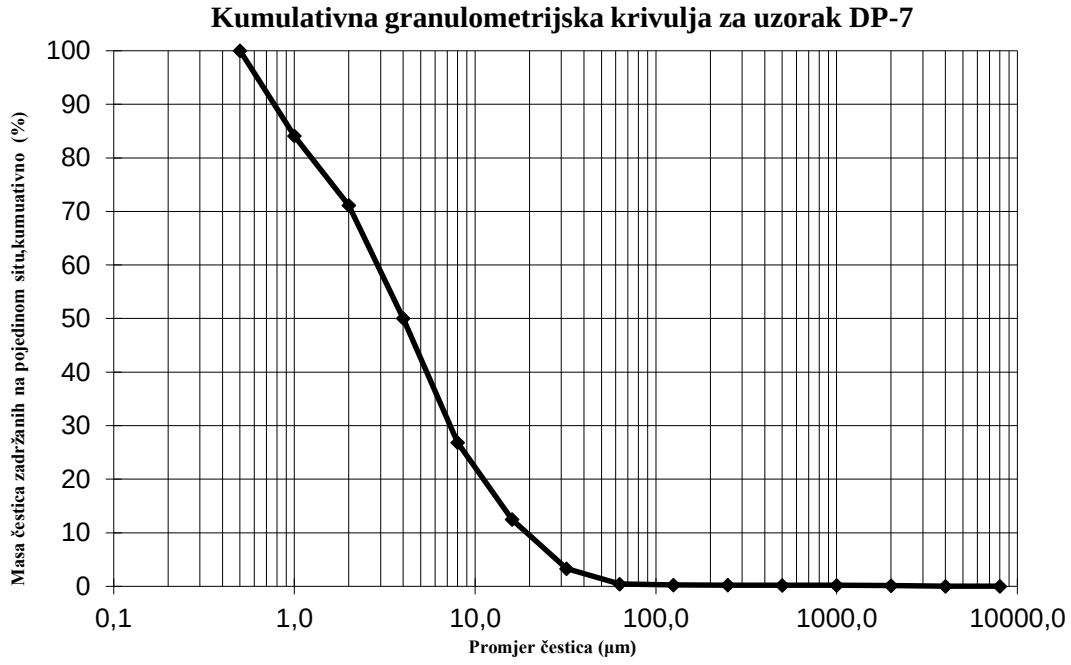
Prilog 3.6. Histogram i granulometrijska krivulja za uzorak DP-6.



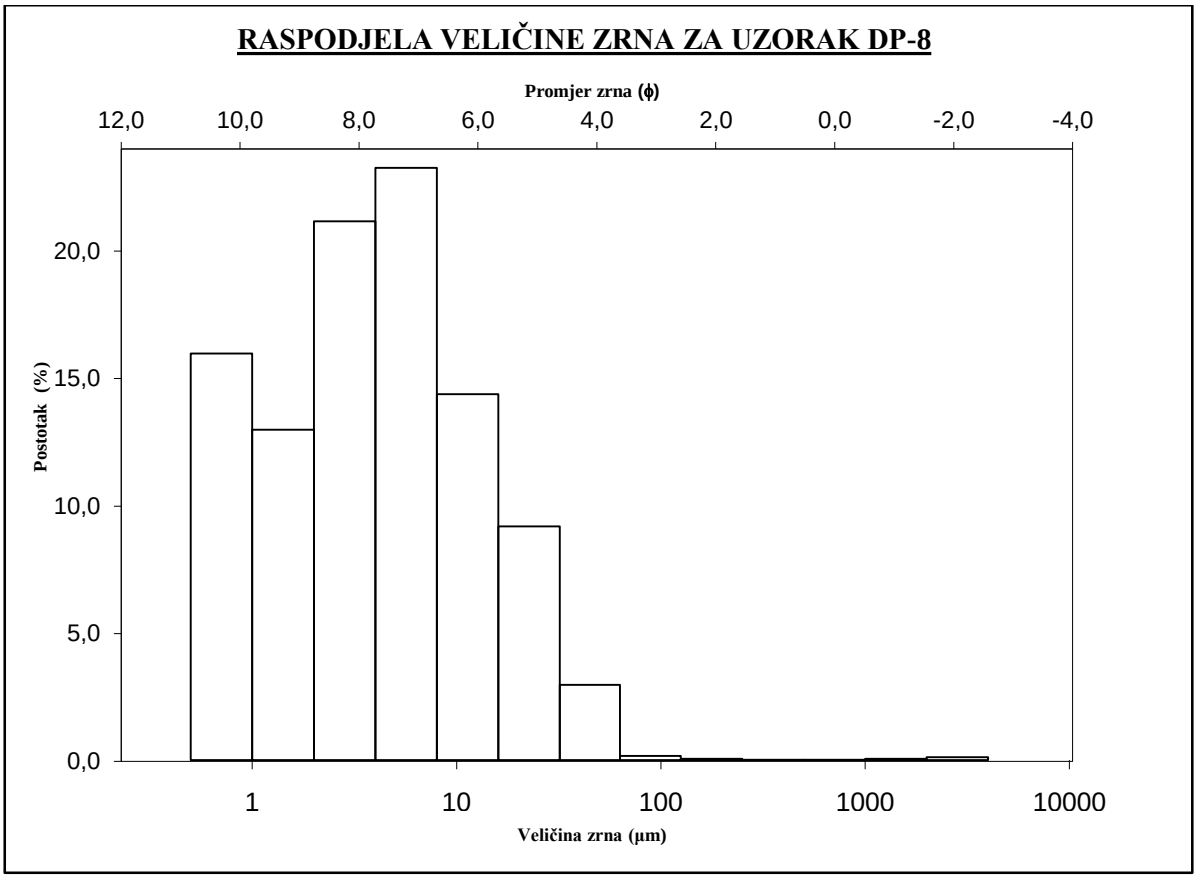


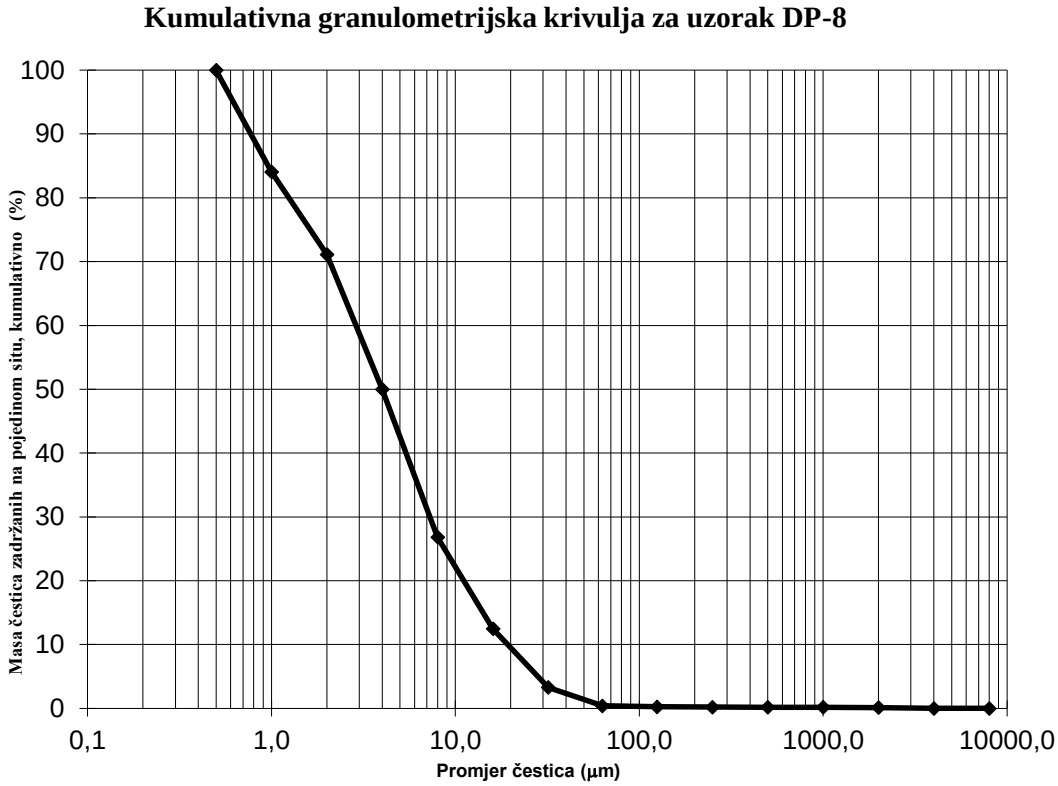
Prilog 3.7. Histogram i granulometrijska krivulja za uzorak DP-7.





Prilog 3.8. Histogram i granulometrijska krivulja za uzorak DP-8.





Prilog 4.1 Rezultati određivanja Atterbergovih granica tečenja i plastičnosti za uzorak DP-1.

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ATTERBERGOVIH GRANICA TEČENJA I PLASTIČNOSTI

Oznaka uzorka: **DP-1** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Granica plastičnosti

Broj testa	1	2	3
Broj posude	4	5	10
Masa posude [g]	28,410	28,320	28,820
Masa mokrog tla i posude [g]	30,610	32,690	31,400
Masa suhog tla i posude [g]	30,120	31,760	30,850
Masa vode [g]	0,490	0,930	0,550
Masa suhog tla [g]	1,710	3,440	2,030
Vlažnost [%]	28,7	27,0	27,1

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.01g

Granica tečenja

Broj testa	1	2	3
Prodiranje [mm]	24,0	19,7	15,8
Broj posude	2	10	100
Masa posude [g]	14,65	14,10	19,32
Masa mokrog tla i posude [g]	27,04	27,67	29,82
Masa suhog tla i posude [g]	22,81	23,10	26,23
Masa vode [g]	4,230	4,570	3,590
Masa suhog tla [g]	8,160	9,000	6,910
Vlažnost [%]	51,8	50,8	52,0

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.01g

Granica plastičnosti [%] = 27,5 **Granica tečenja [%] = 51,1** **Indeks plastičnosti [%] = 23,6**

Prilog 4.2 Rezultati određivanja Atterbergovih granica tečenja i plastičnosti za uzorak DP-2.

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ATTERBERGOVIH GRANICA TEČENJA I PLASTIČNOSTI

Oznaka uzorka: **DP-2** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Granica plastičnosti

Broj testa	1	2	3
Broj posude	4	5	10
Masa posude [g]	28,410	28,320	28,820
Masa mokrog tla i posude [g]	30,610	32,690	31,400
Masa suhog tla i posude [g]	30,120	31,760	30,850
Masa vode [g]	0,490	0,930	0,550
Masa suhog tla [g]	1,710	3,440	2,030
Vlažnost [%]	28,7	27,0	27,1

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.01g

Granica tečenja

Broj testa	1	2	3
Prodiranje [mm]	18,4	20,8	24,4
Broj posude	25	59	139
Masa posude [g]	18,08	18,76	17,19
Masa mokrog tla i posude [g]	31,58	29,93	34,53
Masa suhog tla i posude [g]	26,76	25,87	28,01
Masa vode [g]	4,820	4,060	6,520
Masa suhog tla [g]	8,680	7,110	10,820
Vlažnost [%]	55,5	57,1	60,3

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.01g

Granica plastičnosti [%] = 27,6 **Granica tečenja [%] = 50,4** **Indeks plastičnosti [%] = 22,8**

Prilog 4.3 Rezultati određivanja Atterbergovih granica tečenja i plastičnosti za uzorak DP-3.

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ATTERBERGOVIH GRANICA TEČENJA I PLASTIČNOSTI

Oznaka uzorka: **DP-3** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Granica plastičnosti

Broj testa	1	2	3
Broj posude	40	42	47
Masa posude [g]	28,610	29,160	28,020
Masa mokrog tla i posude [g]	30,280	31,190	30,670
Masa suhog tla i posude [g]	29,930	30,750	30,090
Masa vode [g]	0,350	0,440	0,580
Masa suhog tla [g]	1,320	1,590	2,070
Vlažnost [%]	26,5	27,7	28,0

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.001g

Granica tečenja

Broj testa	1	2	3
Prodiranje [mm]	19,7	15,5	24,8
Broj posude	1	54	113
Masa posude [g]	22,49	17,60	19,15
Masa mokrog tla i posude [g]	31,97	29,55	30,73
Masa suhog tla i posude [g]	28,56	25,39	26,46
Masa vode [g]	3,410	4,160	4,270
Masa suhog tla [g]	6,070	7,790	7,310
Vlažnost [%]	56,2	53,4	58,4

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0,01g

Granica plastičnosti [%] = 27,5 **Granica tečenja [%] = 56,0** **Indeks plastičnosti [%] = 28,5**

Prilog 4.4 Rezultati određivanja Atterbergovih granica tečenja i plastičnosti za uzorak DP-4.

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ATTERBERGOVIH GRANICA TEČENJA I PLASTIČNOSTI

Oznaka uzorka: **DP-4** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Granica plastičnosti

Broj testa	1	2	3
Broj posude	31	33	34
Masa posude [g]	29,090	30,410	29,080
Masa mokrog tla i posude [g]	31,800	32,210	31,790
Masa suhog tla i posude [g]	31,220	31,790	31,180
Masa vode [g]	0,580	0,420	0,610
Masa suhog tla [g]	2,130	1,380	2,100
Vlažnost [%]	27,2	30,4	29,0

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.001g

Granica tečenja

Broj testa	1	2	3
Prodiranje [mm]	15,8	19,6	22,1
Broj posude	17	33	53
Masa posude [g]	19,07	19,19	17,92
Masa mokrog tla i posude [g]	29,04	35,59	31,58
Masa suhog tla i posude [g]	25,33	29,27	26,17
Masa vode [g]	3,710	6,320	5,410
Masa suhog tla [g]	6,260	10,080	8,250
Vlažnost [%]	59,3	62,7	65,6

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.01

Granica plastičnosti [%] = 28,7 **Granica tečenja [%] = 63,3** **Indeks plastičnosti [%] = 34,6**

Prilog 4.5 Rezultati određivanja Atterbergovih granica tečenja i plastičnosti za uzorak DP-5.

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ATTERBERGOVIH GRANICA TEČENJA I PLASTIČNOSTI

Oznaka uzorka: **DP-5** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Granica plastičnosti

Broj testa	1	2	3
Broj posude	1	9	20
Masa posude [g]	30,320	30,300	31,450
Masa mokrog tla i posude [g]	33,770	33,070	34,170
Masa suhog tla i posude [g]	32,910	32,380	33,530
Masa vode [g]	0,860	0,690	0,640
Masa suhog tla [g]	2,590	2,080	2,080
Vlažnost [%]	33,2	33,2	30,8

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.001g

Granica tečenja

Broj testa	1	2	3
Prodiranje [mm]	16,6	24,7	20,1
Broj posude	6	96	105
Masa posude [g]	19,29	17,35	19,10
Masa mokrog tla i posude [g]	29,80	29,09	30,25
Masa suhog tla i posude [g]	25,68	24,21	25,70
Masa vode [g]	4,120	4,880	4,550
Masa suhog tla [g]	6,390	6,860	6,600
Vlažnost [%]	64,5	71,1	68,9

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.01g

Granica plastičnosti [%] = 31,9 **Granica tečenja [%] = 67,8** **Indeks plastičnosti [%] = 35,9**

Prilog 4.6 Rezultati određivanja Atterbergovih granica tečenja i plastičnosti za uzorak DP-6.

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ATTERBERGOVIH GRANICA TEČENJA I PLASTIČNOSTI

Oznaka uzorka: **DP-6** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Granica plastičnosti

Broj testa	1	2	3
Broj posude	5	9	13
Masa posude [g]	28,320	30,290	27,570
Masa mokrog tla i posude [g]	31,190	35,850	29,800
Masa suhog tla i posude [g]	30,590	34,650	29,340
Masa vode [g]	0,600	1,200	0,460
Masa suhog tla [g]	2,270	4,360	1,770
Vlažnost [%]	26,4	27,5	26,0

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.001g

Granica tečenja

Broj testa	1	2	3
Prodiranje [mm]	17,5	23,3	20,4
Broj posude	14	118	134
Masa posude [g]	18,84	19,21	17,98
Masa mokrog tla i posude [g]	31,44	28,96	30,62
Masa suhog tla i posude [g]	26,70	25,06	25,61
Masa vode [g]	4,740	3,900	5,010
Masa suhog tla [g]	7,860	5,850	7,630
Vlažnost [%]	60,3	66,7	65,7

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.01g

Granica plastičnosti [%] = 26,6 **Granica tečenja [%] = 63,7** **Indeks plastičnosti [%] = 37,1**

Prilog 4.7 Rezultati određivanja Atterbergovih granica tečenja i plastičnosti za uzorak DP-7

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ATTERBERGOVIH GRANICA TEČENJA I PLASTIČNOSTI

Oznaka uzorka: **DP-7** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Granica plastičnosti

Broj testa	1	2	3
Broj posude	19	21	30
Masa posude [g]	31,070	28,480	27,310
Masa mokrog tla i posude [g]	33,770	31,990	31,030
Masa suhog tla i posude [g]	33,260	31,320	30,320
Masa vode [g]	0,510	0,670	0,710
Masa suhog tla [g]	2,190	2,840	3,010
Vlažnost [%]	23,3	23,6	23,6

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.001g

Granica tečenja

Broj testa	1	2	3
Prodiranje [mm]	17,6	23,5	20,0
Broj posude	104	124	144
Masa posude [g]	19,03	19,21	19,17
Masa mokrog tla i posude [g]	30,73	30,85	32,08
Masa suhog tla i posude [g]	26,51	26,49	27,27
Masa vode [g]	4,220	4,360	4,810
Masa suhog tla [g]	7,480	7,280	8,100
Vlažnost [%]	56,4	59,9	59,4

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.01

Granica plastičnosti [%] = 23,8 **Granica tečenja [%] = 63,7** **Indeks plastičnosti [%] = 39,9**

Prilog 4.8 Rezultati određivanja Atterbergovih granica tečenja i plastičnosti za uzorak DP-8

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ATTERBERGOVIH GRANICA TEČENJA I PLASTIČNOSTI

Oznaka uzorka: **DP-8** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Granica plastičnosti

Broj testa	1	2	3
Broj posude	8	22	42
Masa posude [g]	28,630	29,760	29,170
Masa mokrog tla i posude [g]	31,640	33,240	31,080
Masa suhog tla i posude [g]	30,970	32,450	30,650
Masa vode [g]	0,670	0,790	0,430
Masa suhog tla [g]	2,340	2,690	1,480
Vlažnost [%]	28,6	29,4	29,1

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.001g

Granica tečenja

Broj testa	1	2	3
Prodiranje [mm]	17,1	20,4	23,4
Broj posude	39	70	137
Masa posude [g]	19,64	19,65	19,38
Masa mokrog tla i posude [g]	30,51	32,10	32,54
Masa suhog tla i posude [g]	26,16	27,01	27,00
Masa vode [g]	4,350	5,090	5,540
Masa suhog tla [g]	6,520	7,360	7,620
Vlažnost [%]	66,7	69,2	72,7

Napomena: testne uzorke vagati na vagi d=0.01

Granica plastičnosti [%] = 28,7 **Granica tečenja [%] = 69,2** **Indeks plastičnosti [%] = 40,5**

Prilog 5.1 Vrijednosti zatečene vlage u uzorcima DP-1, DP-2 i DP-3

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ZATEČENE VLAGE

Oznaka uzorka: **DP-1** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Broj posudice	96	113
Masa posudice [g]	17,35	19,15
Masa vlažnog uzorka i posudice [g]	88,27	68,88
Masa suhog uzorka i posudice [g]	77,73	61,41
Masa vode [g]	10,54	7,47
Masa suhog uzorka [g]	60,38	42,26
Vlažnost [%]	0,17	0,18
Vlažnost uzorka $_{srednje}$ [%]	0,18	

Oznaka uzorka: **DP-2** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Broj posudice	6	26
Masa posudice [g]	19,29	19,31
Masa vlažnog uzorka i posudice [g]	83,02	80,21
Masa suhog uzorka i posudice [g]	97,34	65,22
Masa vode [g]	-14,32	14,99
Masa suhog uzorka [g]	78,05	45,91
Vlažnost [%]	-0,18	0,33
Vlažnost uzorka $_{srednje}$ [%]	0,07	

Oznaka uzorka: **DP-3** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Broj posudice	53	118
Masa posudice [g]	17,92	19,21
Masa vlažnog uzorka i posudice [g]	69,35	70,70
Masa suhog uzorka i posudice [g]	57,42	58,76
Masa vode [g]	11,93	11,94
Masa suhog uzorka [g]	39,50	39,55
Vlažnost [%]	0,30	0,30
Vlažnost uzorka $_{srednje}$ [%]	0,30	

Prilog 5.2. Vrijednosti zatečene vlage za uzorke DP-4, DP-5 i DP-6

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ZATEČENE VLAGE

Oznaka uzorka: **DP-4** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Broj posudice	17	105
Masa posudice [g]	19,06	19,10
Masa vlažnog uzorka i posudice [g]	79,46	76,29
Masa suhog uzorka i posudice [g]	64,27	62,06
Masa vode [g]	15,19	14,23
Masa suhog uzorka [g]	45,21	42,96
Vlažnost [%]	0,34	0,33
Vlažnost uzorka $_{srednje}$ [%]	0,33	

Oznaka uzorka: **DP-5** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Broj posudice	104	134
Masa posudice [g]	19,03	17,98
Masa vlažnog uzorka i posudice [g]	70,58	66,43
Masa suhog uzorka i posudice [g]	58,95	55,61
Masa vode [g]	11,63	10,82
Masa suhog uzorka [g]	39,92	37,63
Vlažnost [%]	0,29	0,29
Vlažnost uzorka $_{srednje}$ [%]	0,29	

Oznaka uzorka: **DP-6** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Broj posudice	33	70
Masa posudice [g]	19,20	19,65
Masa vlažnog uzorka i posudice [g]	68,75	72,38
Masa suhog uzorka i posudice [g]	55,98	58,88
Masa vode [g]	12,77	13,50
Masa suhog uzorka [g]	36,78	39,23
Vlažnost [%]	0,35	0,34
Vlažnost uzorka $_{srednje}$ [%]	0,35	

Prilog 5.3. Vrijednosti zatečene vlage u uzorcima DP-7 i DP-8

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb
Inženjerskogeološki laboratorij

ODREĐIVANJE ZATEČENE VLAGE

Oznaka uzorka: **DP-7** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Broj posudice	83	115
Masa posudice [g]	20,50	18,12
Masa vlažnog uzorka i posudice [g]	73,11	69,60
Masa suhog uzorka i posudice [g]	62,54	59,35
Masa vode [g]	10,57	10,25
Masa suhog uzorka [g]	42,04	41,23
Vlažnost [%]	0,25	0,25
Vlažnost uzorka $_{srednje}$ [%]	0,25	

Oznaka uzorka: **DP-8** Datum početka testiranja: 9.10.2020

Broj posudice	121	137
Masa posudice [g]	14,91	19,38
Masa vlažnog uzorka i posudice [g]	68,26	74,10
Masa suhog uzorka i posudice [g]	55,16	60,66
Masa vode [g]	13,10	13,44
Masa suhog uzorka [g]	40,25	41,28
Vlažnost [%]	0,33	0,33
Vlažnost uzorka $_{srednje}$ [%]	0,33	