

Utjecaj minerala glina na fizička svojstva sitnozrnastih tala podsljemenske zone grada Zagreba

Martinčević Lazar, Jasmina

Doctoral thesis / Disertacija

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:010712>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 4.0 International/Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko – geološko – naftni fakultet

Jasmina Martinčević Lazar

**UTJECAJ MINERALA GLINA NA
FIZIČKA SVOJSTVA SITNOZRNASTIH
TALA PODSLJEMENSKE ZONE GRADA
ZAGREBA**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

prof.dr.sc. Snježana Mihalić Arbanas
prof.dr.sc. Goran Durn

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Jasmina Martinčević Lazar

**THE INFLUENCE OF CLAY MINERALS
ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF
FINE-GRAINED SOILS FROM THE
ZAGREB PODSLJEME AREA**

DOKTORSKI RAD

Supervisors:

Full Prof. Snježana Mihalić Arbanas, PhD

Full Prof. Goran Durn, PhD

Zagreb, 2021.

Ovaj doktorski rad izrađen je uz potporu Hrvatskog geološkog instituta, a pod vodstvom prof.dr.sc. Snježane Mihalić Arbanas i prof.dr.sc. Gorana Durna s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

*„Uvijek se čini nemogućim dok to **nije gotovo!**“*

Nelson Mandela

*Mojoj obitelji,
dečkima bez kojih bi mi život bio besmislen...*

ZAHVALA

Iskreno zahvaljujem svima koji su tijekom svih ovih godina na bilo koji način doprinijeli izradi ovog rada! To su bile godine ispunjene usponima i padovima, trenucima entuzijazma i obeshrabrenja te je svatko u određenom periodu odigrao neku važnu ulogu.

Zahvaljujem se prije svega djelatnicima Hrvatskog geološkog instituta – Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, osobito povjerenstvu (dr.sc. Renato Buljan, dr.sc. Davor Pollak i Željko Miklin, dipl.ing.geol.) koji su svojom odlukom o mojem zapošljavanju na Hrvatsko-Japanski projekt omogućili upis i financiranje doktorskog studija, a kasnije pripomogli oko usmjeravanja i definiranja teme ovog istraživanja.

Veliko hvala prof. dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas te akademiku prof.dr.sc. Goranu Durnu na prihvaćanju uloge mentora, usmjeravanju u radu, uvijek hvalevrijednim sugestijama, diskusijama i nesebično prenesenom znanju koje su pomogle pri oblikovanju disertacije.

Od srca hvala dragom kolegi i suradniku Željku Miklinu („stricu“) što me uključio u rad na projektu Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske zone grada Zagreba – FAZA II u okviru kojeg je odrađena glavnina terenskog i laboratorijskog istraživanja na kojima se ovaj rad temelji. Isto tako hvala kolegama i suradnicima: dr.sc. Laszlu Podolszki, Tomislavu Novoselu i Ivanu Kosoviću na uvijek ugodnom društvu i pomoći tijekom prikupljanja uzoraka.

Iskreno hvala akademiku prof.dr.sc. Goranu Durnu i kolegici dr.sc. Aniti Grizelj na korisnim diskusijama i savjetima oko mineraloške problematike ovog istraživanja, trudu i savjetima koji su doprinijeli da rad bude kompletniji i pregledniji. Hvala na velikoj podršci i ravnopravnom uvažavanju mojeg mišljenja...Zbog Vas moje samopouzdanje u ovih posljednjih nekoliko mjeseci nije palo.

Veliko hvala kolegi (i bivšem cimeru) dr.sc. Kostu Urumoviću na svesrdnoj pomoći i usmjeravanju tijekom istraživanja i pisanja rada kao i na velikoj podršci u trenucima kada nije baš sve izgledalo idealno.

Iskreno hvala kolegi dr.sc. Zoranu Pehu na brzom i nesebičnoj pomoći oko statističkih analiza koje su doprinijele na težini i značaju ove disertacije.

Od srca hvala kolegici i cimerici Ani Čaić Janković na pomoći oko implementacije i provođenja ispitivanja kapaciteta kationske izmjene te na strpljivosti, toleranciji i moralnoj podršci prilikom mojih promjena raspoloženja. ☺

Hvala predstojnici Zavoda za geologiju dr.sc. Koraljki Bakrač na ukazanom povjerenju i podršci u završnom razdoblju izrade doktorata.

Hvala i svima ostalima koji su bili stručna ili moralna podrška u mom radu, a posebno ekipi inženjeraca s kave ☺: Staši, Kostu, Ivani, Jasmini, Josipu i Renatu, te Nedeljku na pomoći kod pripreme uzoraka za XRD analize.

Naposlijetku, hvala cijeloj mojoj veeelikoj obitelji na podršci i razumijevanju, što ste uz mene bez obzira što sam vas često zapostavljala zbog posla. Hvala mami i tati, koji su u svakom trenutku, od samog početka mog profesionalnog razvoja bili uz mene i podržali svaku moju odluku. Najveću moguću zahvalnost ipak dugujem mojim najboljim i najdražim dečkima, mom Tomici i našim anđelima Damjanu i Danijelu. Hvala vam što ste vjerovali u mene i moj uspjeh, hvala vam na strpljivom podnošenju zanemarivanja i nervoze, ali i ohrabriranju u trenucima kada bih posustala. Vi ste bili moja motivacija i inspiracija i samo zbog vas sam ostvarila ovaj uspjeh! Volim vas najviše!

Veliki dio površine podsljemenske zone u gradu Zagrebu prekriven je sedimentima pliokvartarne (PLQ) i gornjomiocenske (GM) stratigrafske pripadnosti. U inženjerskogeološkom smislu to su uglavnom sitnozrnasta tla, karakterističnih fizičko-mehaničkih svojstava i inženjerskog ponašanja. Mehanička svojstva tla prvenstveno ovise o osnovnim fizičko – kemijskim svojstvima tla te faktorima koji na njih utječu. Vrlo veliki utjecaj na navedena svojstva ima udjel glinovite frakcije u tlu te vrste i relativni udjel minerala glina. Cijelo istraživanje temeljeno je na pretpostavci da mehanička svojstva sitnozrnastih tala u podsljemenskoj zoni ovise o količini glinovite frakcije i njezinom mineralnom sastavu te vrsti i relativnom udjelu minerala glina. Cilj istraživanja bio je analizirati i kvantificirati detaljni mineralni sastav spomenutih naslaga te kvantificirati njihova osnovna fizička svojstva kako bi se mogli definirati njihovi statistički odnosi na temelju kojih bi se dobio uvid kako i na koji način utječe mineralni sastav na fizička svojstva sitnozrnastih vrsta tla. Istraživanje je provedeno na ukupno 59 uzoraka sitnozrnastih tala (39 uzoraka PLQ) i (20 uzoraka GM) prikupljenih iz istražnih bušotina na kojima je određen detaljni mineralni sastav, kapacitet kationske izmjene (CEC), granulometrijski sastav, Atterbergove granice i indeks plastičnosti te je izračunata vanjska specifična površina cjelovitih uzoraka (SSA). S obzirom na veliki broj dobivenih podataka za opis i interpretaciju rezultata korišteni su jednostavni statistički testovi (t-test i analiza varijance), multivarijatna diskriminantna analiza te jednostavna korelacijska analiza. Dobiveni rezultati pokazali su kako se PLQ i GM tla razlikuju u vrstama tla prema geomehaničkoj klasifikaciji, fizičkim svojstvima tala, mineralnom sastavu te zastupljenosti i udjelima minerala glina. Isto tako, korelacijskom analizom pokazalo se kako i na koji način pojedine vrste minerala glina utječu na određena fizička svojstva sitnozrnastih tala podsljemenske zone grada Zagreba.

Ključne riječi: sitnozrnasta tla, fizička svojstva, Atterbergove granice, minerali glina, podsljemenska zona

ABSTRACT

About 70% of the Zagreb Podsljeme area is occupied with sediments of Plioquaternary and Upper Miocene age. From an engineering geological point of view, they are mostly fine-grained soils (clays and muds of low and high plasticity) with characteristic properties and engineering geological conditions. Their physical and mechanical properties primarily depend on the basic physico-chemical properties of soil particles and factors that affect them. One of these basic factors that have greatest influence on the main properties of fine-grained soils is the proportion of the clay fraction as well as type and relative proportion of clay minerals.

Based on preliminary investigations it has been found that between Plioquaternary and Upper Miocene fine-grained soils in Podsljeme area occurred some differences in particle size distribution, Atterberg limits and plasticity index. It is assumed that these differences are present due to different lithological and mineral composition, especially in amount of clay minerals, because of two different environmental regimes that prevailed at the time of deposition; Upper Miocene lake environment and Plioquaternary alluvial and continental sedimentation environment. Which type of clay minerals and how they affect the physical properties of fine-grained soils was interpreted on the basis of obtained statistical relationships with the Atterberg limits, plasticity index, soil surface area (SSA) and cation exchange capacity (CEC). According to this, it has been set the four research hypotheses:

1. The relative presence of certain types of clay minerals in the Plioquaternary and Upper Miocene fine-grained soils of Zagreb Podsljeme area is different
2. The greatest influence on the Atterberg limits and specific surface area of Plioquaternary fine-grained soils have vermiculites and in Upper Miocene fine-grained soils smectites.
3. Fine-grained soils that do not contain expandable types of clay minerals can also have a large specific surface area and high values of the Atterberg limits.
4. The dependence of the physical properties on the amount and mineral composition of the clay fraction can be described by statistical models.

According to these, the main research objectives were to analyze and quantify mineral composition of fine-grained soils, as well as their physical properties and to define statistical

relationships between physical properties of soil and relative proportions of clay minerals. For this purpose, 59 samples (39 Plioquaternary fine-grained soils and 20 Upper Miocene fine-grained soils) were collected and laboratory tested.

The first step, before laboratory testing, was to classify the samples according to relative geological age and lithostratigraphic affiliation. The first phase of laboratory testing involved determining of the particle size distribution and Atterberg limits. Results of these tests served as input data for geomechanical classification according to USCS method and for calculating of specific surface area. The second phase of laboratory testing involved determining the mineral composition of samples by X-ray powder diffraction and measuring of cation exchange capacity by Cu-trien method. In order to find differences in clay mineralogy between two stratigraphic different sets of samples (PLQ and GM), a t-test and analysis of variance (ANOVA) was performed. The next step in the analysis of the obtained data was to define the difference in mineral composition and physical properties between four *a priori* defined soil classes based on geomechanical classification and stratigraphic affiliation. For this purpose it was used a multivariate discriminant analysis based on the calculations of a series of linear combinations of the observed variable that represent physical properties and mineralogical composition. In order to find whether clay minerals affect the physical properties of fine-grained soils and in which way, it was used a simple linear correlation analysis. The analysis was performed on several soil groups classified based on relative geological age and geomechanical classification.

An original scientific contribution of this research lies in a definition and detail knowledge of the mineral composition of Plioquaternary and Upper Miocene fine-grained soils of the Zagreb Podsljeme area. In addition, the scientific contribution is reflected in interpretation of the influence of clay minerals and their proportions in clay fraction on the main physical properties of observed fine-grained soils. And the last, the certain scientific contribution lies in the development of a method for defining the dependence of physical properties and mineral composition of fine-grained soils of Podsljeme area.

Key words: fine-grained soils, physical properties, Atterberg limits, clay minerals, statistical analysis, Podsljeme area

1. UVOD	1
1.1. DOSADAŠNJE SPOZNAJE.....	1
1.2. SVRHA I CILJEVI.....	3
1.3. STRUKTURA DISERTACIJE.....	5
2. MINERALI GLINA	7
2.2. OSNOVNA FIZIČKO – KEMIJSKA SVOJSTVA MINERALA GLINA.....	10
2.2.1. Specifična površina.....	10
2.2.2. Kationska izmjena.....	11
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	12
3.1. GEOGRAFSKI I PALEOGEOGRAFSKI POLOŽAJ PODSLJEMENSKE ZONE.....	12
3.2. GEOLOŠKA GRAĐA PODSLJEMENSKE ZONE.....	13
3.2.1. Gornjomiocenske naslage.....	14
3.2.2. Pliokvartarne naslage.....	15
3.3. INŽENJERSKOGEOLOŠKI UVJETI U PODSLJEMENSKOJ ZONI.....	17
3.3.1. Inženjerskogeološke jedinice prema digk 1:5000.....	17
3.3.2. Vrste i osnovna obilježja sitnozrnastih tala podsljemenske zone.....	18
4. METODE ISTRAŽIVANJA	25
4.1. TERENSKA ISTRAŽIVANJA.....	25
4.1.1. Opis tla i uzorkovanje.....	25
4.1.2. Istražna bušotina P7/8-B1.....	28
4.1.3. Istražna bušotina P7-B2.....	30
4.1.4. Istražna bušotina P9-B4.....	32
4.1.5. Istražna bušotina P11-B4a.....	34

4.2. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA.....	36
4.2.1. Određivanje mineralnog sastava tla.....	36
4.2.1.1. Analiza mineralnog sastava cjelovitih uzoraka.....	37
4.2.1.2. Analiza mineralnog sastava frakcije manje od 2 μm	38
4.2.1.3. (Semi)kvantitativna mineraloška analiza.....	40
4.2.1.4. Kriteriji za identifikaciju minerala glina.....	41
4.2.2. Određivanje kapaciteta kationske izmjene (CEC).....	44
4.2.3. Određivanje fizičkih svojstava tla.....	47
4.2.3.1. Granulometrijski sastav.....	47
4.2.3.2. Atterbergove granice i indeks plastičnosti.....	48
4.2.3.3. Specifična površina tla.....	48
4.3. STATISTIČKA ANALIZA PODATAKA.....	52
4.3.1. Statistička analiza kompozicijskih podataka.....	52
4.3.2. Diskriminantna analiza.....	54
4.3.3. Korelacijska analiza.....	56
5. REZULTATI.....	57
5.1. MINERALNI SASTAV SITNOZRNASTIH TALA PLIOKVARTARNE I GORNJOMIOCENSKE STAROSTI.....	57
5.1.1 Mineralni sastav glinovite frakcije (< 2 μm).....	58
5.1.2 Mineralni sastav cjelokupnih uzoraka.....	64
5.1.3. Kapacitet kationske izmjene (CEC).....	80
5.2. FIZIČKA SVOJSTVA SITNOZRNASTIH TALA PLIOKVARTARNE I GORNJOMIOCENSKE STAROSTI.....	85
5.2.1 Granulometrijski sastav.....	85
5.2.3 Specifična površina.....	89
5.3. REZULTATI STATISTIČKE ANALIZE PODATAKA.....	96
5.3.1 Atterbergove granice i indeks plastičnosti.....	96
5.3.2. T-test i analiza varijance.....	98
5.3.3. Rezultati diskriminantne analize.....	100
5.3.4. Rezultati korelacijske analize.....	106
5.3.3.1. Sitnozrnasta tla pliokvartarne starosti.....	107
5.3.3.2. Sitnozrnasta tla gornjomiocenske starosti.....	109
6. RASPRAVA.....	112
6.1. MINERALNI SASTAV, VRSTE I FIZIČKA SVOJSTVA SITNOZRNASTIH TALA PODSLJEMENSKE ZONE.....	112
6.1.1. Mineralni sastav.....	112
6.1.2. Minerali glina.....	117
6.1.3. Vrste i fizička svojstva tala.....	121

6.2. RAZLIKE MEĐU SITNOZRNASTIM TLIMA PLIOKVARTARNE I GORNJOMIOCENSKE STAROSTI DOBIVENE TEMELJEM STATISTIČKIH ANALIZA.....	127
6.2.1. Diskriminantna analiza prema pripadnosti litostratigrafskim jedinicama.....	127
6.2.2. Diskriminantna analiza prema vrsti tla.....	129
6.2.3. Diskriminantna analiza prema vrsti tla određene starosti.....	131
6.3. UTJECAJ MINERALA GLINA NA FIZIČKA SVOJSTVA SITNOZRNASTIH TALA.....	132
6.3.1. Ekspandibilni minerali glina.....	133
6.3.2. Neekspandibilni minerali glina.....	141
6.3.3. Frakcija manja od 2 μm i ostali minerali.....	150
7. ZAKLJUČCI.....	154
8. LITERATURA.....	161
9. POPIS SLIKA.....	172
10. POPIS TABLICA.....	180
11. ŽIVOTOPIS I POPIS RADOVA.....	184

1.1. DOSADAŠNJE SPOZNAJE

Prema USCS klasifikaciji (eng. *Unified Soil Classification System*) (ASTM D 2487 - 06, 2006) sitnozrnasta tla su ona tla koja sadrže 50 % i više čestica manjih od 0,075 mm. Drugim riječima to su tla koja se sastoje od čestica praha i gline. Problem sitnozrnastih tala u inženjerskoj geologiji vezan je uz njihova karakteristična mehanička svojstva kao što su izražena kompresibilnost, velika poroznost, niska hidraulička vodljivost te mala čvrstoća na smicanje. Navedena svojstva krajnja su karika uzročno posljedičnog lanca u kojem su na prvom mjestu određeni prirodni faktori koji kontroliraju fizička svojstva tla i njihov međusobni odnos, a o kojima znatno ovise mehanička svojstva tla. Među primarnim faktorima koji utječu na inženjersko ponašanje sitnozrnastih tala su tzv. kompozicijski faktori kao što su oblik i veličina čestica u tlu, mineralni sastav, vrsta adsorbiranih kationa, sastav pornog fluida i udio organske tvari (Mitchell & Soga, 2005).

Jedno od fizičkih svojstava na koje snažan utjecaj ima mineralni sastav tla, a koje istovremeno kontrolira mehanička svojstva je svakako vlažnost tla tj. kapacitet tla za prihvatanje vode (Mitchell & Soga, 2005). Promjena ponašanja tla u odnosu na količinu vode u tlu se u inženjerskoj geologiji izražava preko Atterbergovih granica (Atterberg, 1911). Naime, zbog jednostavnosti određivanja Atterbergove granice su gotovo nezaobilazan parametar u inženjerskogeološkim istraživanjima jer se na temelju njih može relativno dobro procijeniti

inženjersko ponašanje tla. Npr. *granica plastičnosti* (PL) označava količinu vode u tlu pri kojoj tlo prelazi iz polučvrstog u plastično stanje, dok *granicu tečenja* (LL) označava količinu vode u tlu pri kojoj ono prelazi iz plastičnog u žitko stanje. Vrijednosti Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti mijenjaju se ovisno o količini glinovite frakcije u tlu i organske tvari (Mitchell & Soga, 2005) na način da se s povećanjem glinovite frakcije u tlu, gotovo linearno povećavaju i vrijednosti Atterbergovih granica (Davidson & Handy, 1953; Dumbleton & West, 1966; Polidori, 2007), međutim stupanj povećanja nije isti za sve vrste sitnozrnastih tala, već se razlikuje s obzirom na vrstu i udio minerala glina u glinovitoj frakciji (Skempton, 1953; Dumbleton & West, 1966; Schmitz i dr., 2004; Polidori, 2007). Pokazatelj toga su tla koja sadrže istu količinu glinovite frakcije, ali granice tečenja i plastičnosti im se razlikuju. Razlog leži u specifičnoj površini tla koja je odraz mineralnog sastava, točnije prisutnosti bubrivih i/ili nebubrivih minerala glina u tlu. U pravilu, što je relativni udjel bubrivih minerala u tlu veći to je veća specifična površina tla, a posljedično i Atterbergove granice (Muhunthan, 1991; Cerato, 2001). Prema definiciji specifična površina tla je svojstvo kojim se izražava ukupna površina oplošja svih čvrstih čestica u tlu na kojoj se odvija izmjena kationa i koja reagira s vodom (Carter i dr., 1986, Cerato, 2001, Urumović, 2013), a ovisna je o veličini i obliku čestica te mineralnom sastavu tla. Drugim riječima, specifična površina će biti veća za tla koja sadrže bubrivu mineralnu glinu jer oni, za razliku od nebubrivih minerala glina, osim velike vanjske specifične površine imaju i veliku unutarnju specifičnu površinu (Mitchell & Soga, 2005; Velde & Meunier, 2008). Iz navedenog se može zaključiti da je specifična površina, budući da također ovisi o mineralnom sastavu glinovite frakcije u tlu, u izravnoj vezi s Atterbergovim granicama. Istraživanjem utjecaja specifične površine, kao odraz mineralnog sastava, na količinu vode pri granici tečenja i granici plastičnosti bavila se velika skupina autora od kojih se ističu Farrar & Coleman, (1967), Locat i dr. (1985), Smith i dr. (1985) Muhunthan (1991), Cerato (2001) i Olchawa & Goraczko (2012). Prema navedenim istraživanjima specifična površina tla najviše utječe na granicu tečenja. Osim specifične površine tla, neki od navedenih autora, Farrar & Coleman, (1967), Locat i dr. (1985) te Olchawa & Goraczko (2012) su pokazali da utjecaj na količinu vode pri granici tečenja i granici plastičnosti ima i kationska izmjena, odnosno vrsta kationa koja sudjeluje u izmjeni što je osobito izraženo u tlima koja sadrže veće količine bubrivih minerala. Tako su primjerice Olchawa & Goraczko (2012) utvrdili da su Atterbergove granice znatno više u tlima sa smektitnom komponentom i Na^+ kao izmjenjivim kationom.

Poznavanjem Atterbergovih granica i specifične površine tla te njihovog međusobnog odnosa mogu se procijeniti i dodatna svojstva tla važna u inženjerskoj geologiji, potrebna kod

izrade različitih inženjerskogeoloških i hidrogeoloških modela, a čije određivanje na terenu ili u laboratoriju je dugotrajno i skupo. To su primjerice nedrenirana posmična čvrstoća tla (Dolinar & Mišič, 2005, Dolinar, 2010), rezidualna posmična čvrstoća tla (Tiwari & Marui, 2005; Kaya, 2009) i hidraulička vodljivost (Dolinar, 2009; i Chapui, 2012).

Budući da se tla, njihov mineralni sastav kao i omjer frakcija u tlu razlikuju već na lokalnoj razini, korelacije postignute kroz navedene radove vrijede isključivo za tla na kojima su istraživane te nemaju generalnu primjenjivost. Kako bi se korelacije takvog tipa generalizirale, većina istraživanja novijeg datuma se temelji na ispitivanju tzv. rekonstituiranih uzoraka (Polidori, 2003; Dolinar & Mišič, 2005; Polidori, 2007; Olchawa & Goraczko, 2012). To su laboratorijski pripremljeni uzorci, najčešće u obliku mješavine kvarcnih pijesaka i prahova te montmorillonitnih i kaolinitnih glina. Vrlo su rijetka istraživanja na prirodnim uzorcima tala (Schmitz i dr., 2004; Olchawa & Goraczko, 2012) koja uz smektit i kaolinit sadrže i neke druge minerale glina kao što su vermikulit (također bubrivi mineral), illit i klorit. Tu se osobito ističe rad Schmitz-a (2004) koji uvodi novi parametar, tzv. ekvivalentni bazalni razmak (EBS, eng. *Equivalent Basal Spacing*) pomoću kojeg daje prikaz ukupnog utjecaja svih minerala glina u glinovitoj frakciji na Atterbergove granice. Specifična površina tla, a time i količina vode na granici tečenja i plastičnosti ne ovise samo o prisutnosti bubrivih minerala glina u tlu, već i o veličini njihovih kristala. Primjerice, slabokristalizirani kaolinit je manjih dimenzija od dobro kristaliziranog kaolinita (Durn, 1996; Sutheimer i dr, 1999) te tla koja sadrže slabokristalizirani kaolinit mogu imati jednako visoke vrijednosti specifične površine i Atterbergovih granica kao i tla koja sadrže bubrivi minerale glina (Dumbleton & West, 1966).

1.2. SVRHA I CILJEVI

Veliki dio površine Republike Hrvatske prekriven je sitnozrnastim tlima različitog porijekla i sastava u kojima se javljaju inženjerskogeološki problemi kao što su klizanje, bubrenje i dugotrajno slijeganje tla. U podsljemenskoj zoni grada Zagreba, smještenoj na južnim obroncima planine Medvednice, 70 % ukupne površine zauzimaju pliokvartarne i gornjomiocenske naslage koje se međusobno razlikuju prema porijeklu, a posljedično i mineralnom sastavu (Kovačić & Grizelj, 2006; Grizelj i dr., 2017). Prema geomehaničkoj klasifikaciji to su uglavnom sitnozrnasta tla, nisko i visokoplastični prahovi (ML, MH) te nisko i visokoplastične gline (CL, CH) u kojima su izraženi različiti inženjerskogeološki

problemi, a od kojih je svakako najčešći problem klizanja (Mihalić Arbanas i dr., 2014, 2016). U okviru projekata „Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske zone grada Zagreba M 1:5.000 – FAZA I“ (Miklin i dr., 2007) (u daljnjem tekstu DIGK) i DIGK – FAZA II (Miklin i dr., 2018) provedena su geotehnička istraživanja s ciljem utvrđivanja fizičko – mehaničkih svojstava tala u površinskom dijelu cijele zone na način da je izvedeno preko 200 bušotina dubine od 5 do 35 m na odabranim lokacijama. Obradom rezultata iz prve faze navedenog projekta (Martinčević Lazar i dr., 2017) utvrđeno je da postoje razlike u fizičkim svojstvima, između pleistocenskih i gornjomiocenskih naslaga i to na temelju ispitivanja prvenstveno granulometrijskog sastava, Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti. Pretpostavka je da su navedene razlike prisutne zbog različitog litološkog i mineralnog sastava kao posljedica dvaju različitih okolišnih režima koji su vladali u vrijeme taloženja. Gornjomiocenski jezerski okoliš i pliokvartarni riječni i kopneni okoliš taloženja opisani su u radovima Šikić i dr., 1979; Basch, 1983; Kovačić, 2004; Kovačić & Grizelj, 2006., Grizelj i dr., 2017a. Zbog očekivanih razlika u mineralnom sastavu tla, poglavito frakcije manje od 2 μm , očekuju se i razlike u fizičkim svojstvima tla. Koji minerali glina i na koji način utječu na fizička svojstva sitnozrnastih tala navedene starosti interpretirat će se na temelju dobivenih statističkih odnosa s Atterbergovim granicama i specifičnom površinom tla. U skladu s navedenim postavljene su četiri hipoteze istraživanja:

- 1.** Relativna zastupljenost pojedinih vrsta minerala glina u sitnozrnastim tlima pliokvartarne i gornjomiocenske starosti podsljemenske zone grada Zagreba je različita.
- 2.** U sitnozrnastim tlima pliokvartarne starosti, najveći utjecaj na specifičnu površinu i vrijednosti Atterbergovih granica imaju vermikuliti, a u sitnozrnastim tlima gornjomiocenske starosti smektiti.
- 3.** Veliku specifičnu površinu te visoke vrijednosti Atterbergovih granica mogu imati i sitnozrnasta tla koja ne sadrže bubrežne vrste minerala glina.
- 4.** Zavisnost fizičkih svojstava tla o količini i mineralnom sastavu glinovite frakcije moguće je opisati statističkim modelima.

Kako bi se navedene hipoteze mogle potvrditi/opovrgnuti postavljeni su sljedeći ciljevi istraživanja:

- 1.** Kvantificirati fizička svojstva sitnozrnastih tala podsljemenske zone grada Zagreba na temelju laboratorijskih ispitivanja na uzorcima

2. Analizirati i kvantificirati mineralni sastav cjelovitih uzoraka te odrediti mineralni sastav glinovite frakcije
3. Definirati statističke odnose između fizičkih svojstava tla te relativnog udjela minerala glina.

1.3. STRUKTURA DISERTACIJE

Prvo poglavlje (Uvod) predstavlja svojevrsan uvod u problematiku istraživanja, odnosno opisane su dosadašnje spoznaje u istraživanju minerala glina i njihovog utjecaja na sitnozrnasta tla s naglaskom na značaj ovakvog istraživanja na području podsljemenske zone grada Zagreba. Ukratko su opisani svrha i ciljevi istraživanja te su definirane glavne hipoteze.

Drugo poglavlje (Minerali glina) predstavlja teoretsku osnovu o mineralima glina i njihovim svojstvima. Opisana je sistematika minerala glina, odnosno opisane su vrste minerale glina, njihova strukturna građa i glavna fizikalno-kemijska svojstva koja su bitna za ovo istraživanje. Naglasak je stavljen na svojstvo specifične površine (SSA) i kapaciteta kationske izmjene (CEC) te su istaknute karakteristične vrijednosti ovih parametara ovisno o vrsti minerala glina.

U trećem poglavlju (Područje istraživanja) definiran je geografski i paleogeografski položaj podsljemenske zone grada Zagreba te su opisane njezine geološke i inženjerskogeološke karakteristike. Detaljno su opisane gornjomiocenske i pliokvartarne naslage koje površinski zauzimaju najveći dio podsljemenske zone. Kroz raščlambu spomenutih naslaga na litostratigrafske jedinice dan je uvid u geološku različitost ovih dviju vrsta sedimenata. Nadalje, opisane su osnovne inženjerskogeološke karakteristike podsljemenske zone u odnosu na dosadašnja istraživanja prvenstveno s naglaskom na vrste i stratigrafsku pripadnost sitnozrnastih vrsta tala i njihovih osnovnih inženjerskogeoloških karakteristika.

U četvrtom poglavlju (Metode istraživanja) detaljno su opisane terenske i laboratorijske metode istraživanja te metode statističke obrade podataka. Prikazane su i opisane četiri lokacije na kojima su izvedene bušotine i iz kojih su uzimani uzorci za potrebna laboratorijska ispitivanja. Nadalje, opisana su sva izvedena laboratorijska ispitivanja s detaljno objašnjenim postupcima i procedurama. Na kraju su opisane glavne statističke metode i alati kojima su dobiveni rezultati obrađivani i analizirani.

U petom poglavlju (Rezultati) prikazani su rezultati laboratorijskih ispitivanja na uzorcima sitnozrnastih tala te rezultati dobiveni statističkom analizom podataka. Pregledno su prikazani rezultati vezani uz ispitivanje mineralnog sastava tla koja su obuhvatila tri kategorije ispitivanja: mineralni sastav glinovite frakcije ($< 2\mu\text{m}$), mineralni sastav cjelovitih uzoraka te kapacitet kationske izmjene. Nakon njih prikazani su rezultati vezani uz ispitivanje fizičkih svojstava tla koji obuhvaćaju podatke o granulometrijskom sastavu, Atterbergovim granicama i indeksu plastičnosti te specifičnoj površini svih ispitanih uzoraka. Dobiveni podaci o mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima dodatno su analizirani statističkim postupcima koji su obuhvatili T-test i analizu varijance, diskriminantnu analizu i korelacijsku analizu. Rezultati ovih analiza prikazani su u posljednjem dijelu ovog poglavlja.

U šestom poglavlju (Diskusija) prodiskutirani su dobiveni rezultati istraživanja u odnosu na postavljene hipoteze. U prvom dijelu prokomentirane su razlike među sitnozrnastim tlima gornjomiocenske i pliokvartarne starosti ovisno o mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima, dok je u drugom dijelu diskusije dan osvrt na utjecaj minerala glina, kao i nekih drugih minerala, na fizička svojstva tla temeljen na rezultatima korelacijskih analiza.

U sedmom poglavlju (Zaključci) navedeni su svi zaključci koji su izvedeni na temelju obrade i interpretacije rezultata ovog istraživanja. Posebno su istaknuti znanstveni doprinosi koji su zbog interdisciplinarnosti istraživanja postignuti kako u prirodnom djelu geoloških znanosti tako i u tehničkom djelu geoloških znanosti. Isto tako, istaknuta su i neka novootvorena pitanja proizašla iz ovog istraživanja, a koja bi se trebala u budućnosti detaljnije istražiti.

2. MINERALI GLINA

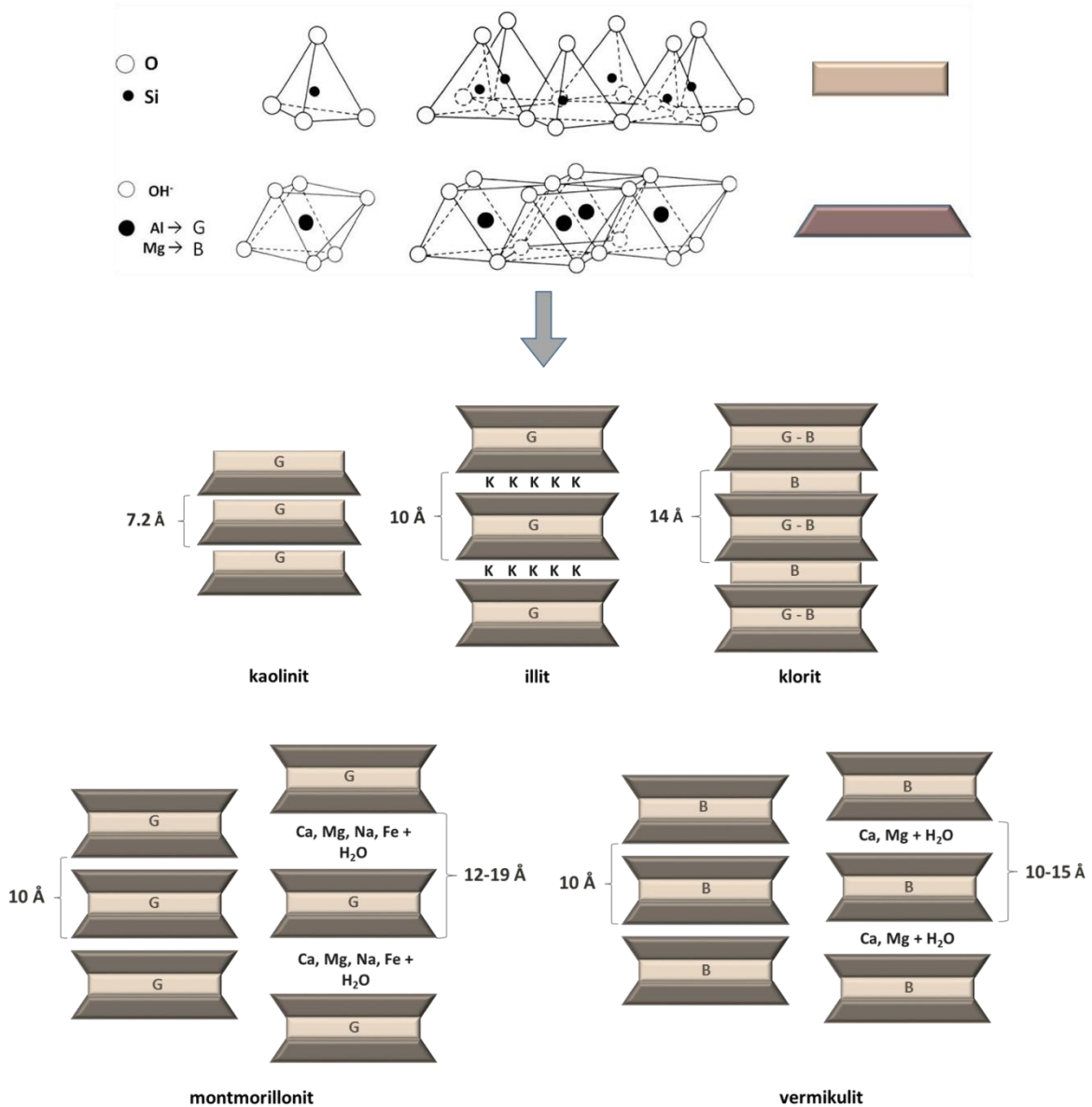
Riječ „glina“ ima višestruko značenje. Termin „glina“ se koristi kao naziv za sitnozrnasto tlo s najvećim udjelom glinovite frakcije, koje se ponaša plastično u kontaktu s određenom količinom vode (Grim, 1962). Isto tako, termin „glina“ se prema Jedinstvenoj geomehaničkoj klasifikaciji (USCS, *engl. Unified Soil Classification System*) koristi u kao naziv za frakciju manju od 2 μm (ASTM D422-63, 1998). Osim toga, termin „glina“ označava i skupni naziv za filosilikatne minerale čija se kristalna struktura sastoji od izmjene tetraedrijskih i oktaedrijskih mreža (Slovenec & Bermanec, 2003). Osnovna fizičko-mehanička svojstva sitnozrnastih tala ovise o udjelu glinovite frakcije te o njezinom mineralnom sastavu. Naime, izuzev minerala glina, frakcija manja od 2 μm može se sastojati i od nekih drugih minerala, a to su najčešće kvarc, karbonati. Osim njih unutar filosilikata postoji skupina minerala glina čije tetraedrijske i oktaedrijske mreže se vežu u lance (Slovenec & Bermanec, 2003). Zbog ovakvog načina vezivanja u kristalnoj strukturi ovog tipa nalaze se veliki međuslojni prostori u obliku kanalića u koji se ugrađuju različiti kationi okruženi molekulama vode. Najpoznatije mineralne vrste unutar ove skupine filosilikata su sepiolit i paligorskit. Budući da ove mineralne vrste nisu prisutne na području na kojem se planiraju istraživanja vezana uz disertaciju, oni neće biti detaljno opisivani u ovom radu.

Tablica 1 Sustav klasifikacije minerala glina; modificirano prema Guggenheim i dr. (2006)

TIP SLOJA	MEDUSLOJNI NABOJ PO FORMULSKOJ JEDINICI (x) + VRSTA KATIONA U MEDUSLOJNOM PROSTORU	GRUPA	OKTAEDRIJSKI KARAKTER	MINERALNA VRSTA
1:1	neutralan, bez kationa ili samo H ₂ O	kaolinit serpentin	trioktaedrijski	lizardit, bertierin, amesit, kronstedit, nepouit, kellyit, fraiponit, brindleit
			dioktaedrijski di, trioktaedrijski	kaolinit, dikit, nakrit, haloazit odinit
2:1	neutralan, bez kationa	talk - pirofilit	trioktaedrijski	talk, willemeit, kerolit, pimelit
			dioktaedrijski	pirofilit, feripirofilit
	X ~ 0.2-0.6, izmjenjivi kationi okruženi molekulama H ₂ O	smektit	trioktaedrijski	saponit, hektorit, saukonit, stevensit, svinefordit
			dioktaedrijski	montmorilonit, bajdelit, nontronit, volkonskoit
	x ~ 0.6 - 0.9, izmjenjivi kationi okruženi molekulama H ₂ O	vermikulit	trioktaedrijski	trioktaedrijski vermikulit
			dioktaedrijski	dioktaedrijski vermikulit
	nehidratizirani monovalentni kationi, x ~ 0.85 - 1.0	pravi tinjci	trioktaedrijski	anit, flogopit, lepidolit, aspidolit
			dioktaedrijski	muskovit, seladonit, paragonit
	nehidratizirani divalentni kationi, x ~ 1.8 - 2.0	krti tinjci	trioktaedrijski	klintonit, kinošitalit, bitijit, anandit
			dioktaedrijski	margarit, černikit
nehidratizirani monovalentni ili divalentni kationi, x ~ 0.6 - 0.85	tinjci s manjkom meduslojnih kationa	trioktaedrijski	glaukonit, bramalit	
		dioktaedrijski	illit, wonesit	
varijabilni naboj + hidroksilni sloj	klorit	trioktaedrijski	klinoklor, chamosit, pennantit, nimit, baileyklor	
		dioktaedrijski di, trioktaedrijski	donbasit kukeit, sudoit	
2:1	Pravilno interstratificirani minerali, x je varijabilan		trioktaedrijski	korensit, alikit, hidrobiotit, kulkcit
			dioktaedrijski	rektorit, tosudit, brinrobertsit
1:1, 2:1			trioktaedrijski	dozyit

Prema strukturnoj građi, minerali glina pripadaju tipu filosilikata čija je osnovna karakteristika vezivanje SiO₄ tetraedara preko tri zajednička vrha u beskonačnu mrežu ili „list“ heksagonskog tipa čiji vrhovi su okrenuti u jednom smjeru (Grim, 1968; Slovenec & Bermanec, 2003). U takvoj strukturi atomi kisika u bazama tetraedara svoje valencije koriste za vezivanje tetraedara u mrežu, dok kisik u vrhu tetraedara dio valencije koristi za vezivanje sa Si, a dio ostaje slobodan. Zbog toga je bazna strana mreže neaktivna, a vršna je aktivna. Takva jedna tetraedrijska mreža može preko kationa u oktaedrijskoj koordinaciji vezati samo hidroksilne anione (OH⁻) pri čemu nastaje sloj tipa 1:1 sastavljen od jedne tetraedrijske i jedne oktaedrijske mreže (sl. 1). Isto tako, dvije tetraedrijske mreže, okrenute jedna prema drugoj, mogu se preko zajedničkog kationa (R²⁺, R³⁺) u oktaedrijskom okruženju (4 kisika i 2 OH⁻) vezati u tromrežni sloj tipa 2:1 sastavljen od dvije tetraedrijske mreže i jedne oktaedrijske (sl. 1).

Zbog prirode kemijske veze, unutar tetraedara ili oktaedara može doći do zamjene iona ili nastanka vakancije, što utječe na naboj slojeva (Brigatti i dr., 2006). U idealnim uvjetima slojevi mogu biti neutralni, no u većini slučajeva su negativno nabijeni zbog čega se u međuslojni prostor ugrađuju različiti kationi koji se okružuju molekulama vode, a zbog slabih veza, mogu se lako zamijeniti tretiranjem minerala različitim otopinama soli zbog čega ih se još naziva i zamjenjivim kationima (Slovenec & Bermanec, 2003; Moore & Reynolds, 1997; Grim, 1968).



Slika 1 Shematski prikaz strukturne građe nebubrivih (kaolinit, illit i klorit) i bubrivih (montmorillonit, vermikulit) minerala glina. O – kisik, Si – silicij, K – kalij, OH – hidroksilni ion, Al – aluminij, Mg – magnezij, G – mreža gibbsitnog tipa, B – mreža brucitnog tipa. Za bubrivne minerale glina prikazana je struktura i osnovni međumrežni razmak u dehidriranom (lijevo) i hidratiziranom stanju (desno). Modificirano prema Mitchell & Soga (2005)

Minerali glina su vrlo zastupljena mineralna vrsta te su prisutni u gotovo svim vrstama stijena i tala. U sedimentnim stijenama i tlu oni su najčešće glavni gradbeni elementi frakcije manje od 2 μm . Najpoznatije mineralne vrste u tlima su kaolinit, smektiti, tinjci (muskovit, illit, paragonit), kloriti, vermikuliti te interstratificirane vrste kao što su illit – smektit, klorit – smektit, klorit-vermikulit i druge (Grim, 1968; Mukherjee, 2013).

2.2. OSNOVNA FIZIČKO – KEMIJSKA SVOJSTVA MINERALA GLINA

Osnovna fizičko–kemijska svojstva sitnozrnastih tala, posljedica su fizičko-kemijskih svojstava čestica od kojih su građeni. Kao što je već spomenuto, to su uglavnom čestice veličine manje od 2 μm , nevidljive bilo kojom optičkom metodom, već se njihov oblik i morfologija mogu promatrati elektronskom mikroskopijom.

2.2.1. Specifična površina

Zbog izrazito male veličine čestica i njihovog uglavnom pločastog habitusa, minerali glina posjeduju veliku specifičnu površinu (Velde, 1992). Ovo svojstvo omogućuje mineralima glina privlačenje kationa oko površine same čestice, a kod nekih mineralnih vrsta i u međuslojne prostore (Velde & Meunier, 2008). Slijedom navedenog, kod minerala glina treba razlikovati vanjsku specifičnu površinu od unutarnje specifične površine (Grim, 1968; Velde, 1992; Mitchell & Soga, 2005; Dolinar & Škrabl, 2013). Minerali glina koji imaju veliku unutarnju specifičnu površinu su smektit i vermikulit te oni u svoj međuslojni prostor ugrađuju različite katione (*izmjenjivi kationi*) koji se okružuju s molekulama vode, pri čemu se kristalna rešetka minerala širi. To se na makroskopskoj razini očituje kao bubrenje. Osim smektita, veliku unutarnju specifičnu površinu imaju još vermikuliti i neki interstratificirani oblici glina (Mitchell & Soga, 2005). Za razliku od njih kaolinit, illit i klorit sadrže samo vanjsku specifičnu površinu koja je veća što su kristali minerala manji. Iz navedenog se može zaključiti da se velika specifična površina može očekivati kod onih tala koja su u najvećoj mjeri izgrađena od čestica glina. Ipak, veličina specifične površine, osim o količini glinovite komponente ovisi i o vrsti minerala glina koji su prisutni u glinovitoj frakciji. U tablici 2 prikazane su neke okvirne vrijednosti specifične površine za minerale glina koji su najčešće sastavni dio glinovite frakcije sitnozrnastih tala. Ove vrijednosti variraju ne samo o vrsti kristalne građe već i o obliku i veličini čestica.

Tablica 2 Vrijednosti specifične površine (SSA) za minerale glina prema Fam & Dussealt (1999) i Mitchell & Soga (2005)

Vrsta minerala	SSA (m ² /g)	
	Fam & Dussealt (1999)	Mitchell & Soga (2005)
kaolinit	10 - 30	10 – 20
illit	30 - 50	65 – 100
klorit	--	--
vermikulit	200	800
smektit	800	840
interstr. illit-smektit	60 – 500	--

2.2.2. Kationska izmjena

Osim sorpcije molekula vode, minerali glina imaju i sposobnost sorpcije određenih kationa koja se javlja kao posljedica promjene elektrostatskog naboja čestica minerala glina zbog slomljenih veza na rubovima čestica ili zbog supstitucije kationa u samoj kristalnoj rešetci (Grim, 1962). Višak negativnog naboja se neutralizira na način da se u međuslojni prostor ugrađuju kationi različite valencije i različitog ionskog radijusa. U ukupnoj izmjeni sudjeluje najčešće pet kationa: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ i NH₄⁺. (Brigatti i dr., 2006; Hendershot i dr., 2008), no to mogu biti i neki drugi kationi sličnog ionskog radijusa. Veličina kojom se definira kapacitet tla da sorbira katione je kapacitet kationske izmjene (*eng. Cation Exchange Capacity, CEC*) te se izražava u molarnim nabojima po masenoj jedinici tla (npr. Cmol/kg) ili miliekvivalentima na 100 g tla (npr. meq/100g). U tablici 3 prikazane su specifične vrijednosti CEC-a za neke minerale glina.

Tablica 3 Karakteristične vrijednosti kapaciteta kationske izmjene za pojedine minerale glina prema Velde & Meunier (2008) i Mitchell & Soga (2005)

vrsta minerala	CEC (meq/100g)	
	Velde & Meunier (2008)	Mitchell & Soga (2005)
kaolinit	5 -15	3 – 15
illit	25 – 40	10 – 40
vermikulit	100 – 150	100 – 150
smektit	80 – 120	80 – 150
klorit	5 - 15	10 – 40

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

3.1. GEOGRAFSKI I PALEOGEOGRAFSKI POLOŽAJ PODSLJEMENSKE ZONE

Područje podsljemenske zone geografski pripada južnim obroncima planine Medvednice smještene u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske u čijem podnožju je smješten grad Zagreb. Podseljemenska zona predstavlja jedno od glavnih rezidencijalnih područja grada Zagreba, a obuhvaća površinu od ukupno 172 km². Proteže se od južne granice Parka prirode Medvednica sve do rubnih dijelova Savske ravnice na jugu, a na zapadu i istoku omeđena je administrativnom granicom između Grada Zagreba i Zagrebačke županije.

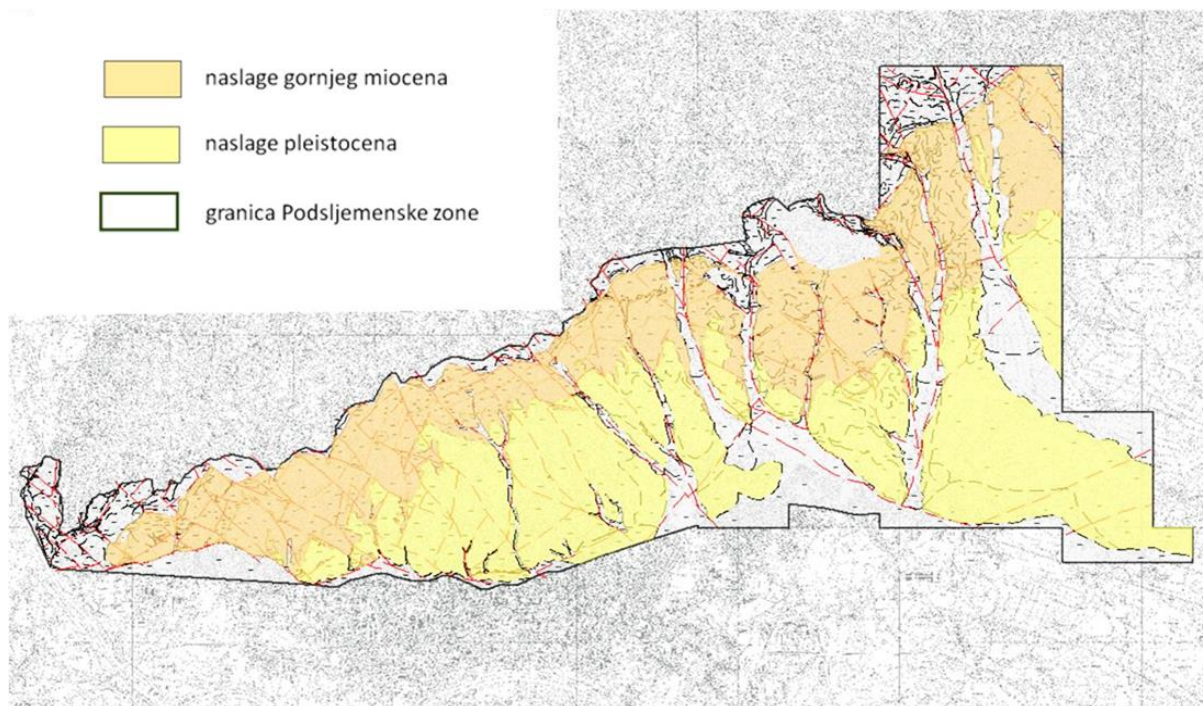


Slika 2 Položaj Medvednice unutar Panonskog bazenskog sustava (preuzeto sa <https://i.imgur.com/mOsrski.jpg>)

Paleogeografski, jugoistočne padine Medvednice pripadaju krajnjem jugozapadnom dijelu panonskog bazena (slika 2), točnije rubnim dijelovima Savske depresije (Royden, 1988, Rögl, 1998). Zbog takvog položaja središnji kristalinski dio jezgre obrubljen je mlađim neogenskim naslagama koje su istaložene tijekom različitih faza razvoja Panonskog bazena (Šikić, 1995; Magyar i dr., 1999; Pavelić, 2001; Tomljenović, 2002; Kovačić, 2004; Grizelj, 2008; Mihalić Arbanas, 2017). Panonski bazen pripada skupini zalučnih bazena (eng. *back-arc basins*) koji je nastao kao posljedica kolizije Afričke i Eurazijske ploče. Njegovo stvaranje započelo je početkom miocena (otnang) subdukcijom i konvergencijom Apulijske mikroploče pod Dinaride kao posljedica navedene kolizije, čime su u njegovom prostoru otvorene brojne ekstenzijske strukturne depresije (Rögl, 1996). U hrvatskom dijelu Panonskog bazena to su Dravska, Savska, Murska i Slavenska depresija (Kovačić, 2004; Malvić & Saftić, 2008).

3.2. GEOLOŠKA GRAĐA PODSLJEMENSKE ZONE

Zbog specifičnog položaja na samom rubu Savske depresije, na području jugoistočnih padina Medvednice može se pratiti karakteristični sedimentacijski niz kao odraz lokalnih strukturnotektonskih promjena (Tomljenović & Csontos, 2001; Tomljenović, 2002) kao i strukturnotektonskih promjena u širem Panonskom prostoru (Rögl, 1998; Pavelić, 2001). Osim na Osnovnoj geološkoj karti 1:100 000, list Zagreb i Ivanić Grad (Šikić i dr., 1979; Basch, 1983), detaljna geološka građa područja podsljemenske zone i površinsko rasprostiranje sedimenata različite starosti, prikazana je na Geološkoj karti podsljemenske zone 1:25.000 (Hećimović & Šorša, 2007) izrađenoj kao podloga za Detaljnu inženjerskogeološku kartu podsljemenske urbanizirane zone 1:5.000 (Miklin i dr., 2007). Prema navedenim izvorima podsljemenska zona grada Zagreba izgrađena je od različitih vrsta sedimenata, a najveći dio površine podsljemenske zone, gotovo 70%, prekrivaju sedimenti gornjomiocenske i pliokvartarne starosti (slika 3).



Slika 3 Granice Podsljemenske zone s prikazom prostorne distribucije gornjomiocenskih i pliocenarnih naslaga; modificirano prema Hećimović & Šorša (2007)

3.2.1. Gornjomiocenske naslage

Sedimentologijom gornjomiocenskih naslaga jugozapadnog dijela Panonskog bazena bavio se Kovačić (2004) i Kovačić & Grizelj (2006) u svojoj istoimenoj doktorskoj disertaciji. Na temelju istraživanja provedenih na području Hrvatskog zagorja, Medvednice, Žumberka i Slavonskih planina, autor je gornjomiocenske naslage, zajedno s najstarijim pliocenskim naslagama, podijelio u sedam neformalnih litostratigrafskih jedinica temeljenih na različitim litofacijsnim obilježjima:

- 1) jedinica Croatica (*donji panon*)
- 2) jedinica Medvedski breg (*donji panon – gornji pont¹*)
- 3) jedinica Ozalj (*donji panon – srednji panon*)
- 4) jedinica Andraševac (*donji panon – gornji pont*)
- 5) jedinica Hum Zabočki (*gornji pont*)
- 6) jedinica Pluska (*pont – pliocen*)
- 7) jedinica Cernik (*donji pliocen*)

¹ Stratigrafskim istraživanjima novijeg datuma na području Panonskog bazena u kojima su osim biostratigrafskih metoda datiranja korištene i apsolutne metode datiranja (Magyar & Geary, 2012, Mandić i dr., 2012) utvrđeno je kako se početak pontske sedimentacije u zapadnom dijelu Parathetysa razlikuje od početka ponta u istočnom dijelu Parathetysa. Da bi se izbjegle pogreške u korelacijama Mandić i dr., 2015 su predložili izbacivanje ponta kao regionalne kronostratigrafske jedinice unutar gornjeg miocena, odnosno dosadašnji pont postaje gornji panon. Budući da su u ovom radu korištene za podlogu geološke karte nastale prije novih saznanja, zadržana je i starija podjela na panon i pont.

Na području južnih padina Medvednice može se pratiti slijed naslaga sastavljenih od facijesa jedinice Croatica, jedinice Medvedski Breg i Ozalj, Andraševac, Hum Zabočki te prema nekim novijim istraživanjima (na lokaciji Črešnjevac s koje su uzimani uzorci i za ovo istraživanje) i jedinica Pluska. Naime, na temelju specifične zajednice teške i lake mineralne frakcije, Višić (2012) svrstava tzv. „crvene gline“ s lokacije Črešnjevac u litostratigrafsku jedinicu Pluska. Vrlo sličan sastav teške i lake mineralne frakcije imaju i sedimenti s područja jugozapadnog dijela Hrvatskog zagorja i Žumberka taloženi na prijelazu iz najmlađeg miocena u pliocen (Kovačić, 2004). Osnovna litološka obilježja svake pojedine litostratigrafske jedinice opisana su u tablici 4.

Tablica 4 Facijesi i uvjeti taloženja neformalnih litostratigrafskih jedinica gornjomiocenskih naslaga prisutnih u podsljemenskoj zoni. Modificirano prema Kovačić (2004)

LITOSTRATIGRAFSKA JEDINICA	STAROST	FACIJES I UVJETI TALOŽENJA
Croatica	donji panon	glinoviti vapnenci i lapori u izmjeni - taloženi iz suspenzije karbonatnog glinovitog mulja u jezeru vrlo niskog saliniteta
Medvedski Breg	donji panon – gornji pont	masivni sivi lapori - topli jezerski, brakični okoliš, dublji od 50 m graduירani klastiti - riječnim transportom doneseni i istaloženi na rubu jezera te gravitacijskim tokovima preneseni u dublje dijelove bazena
Ozalj	donji panon – srednji panon	konglomerati - isklinjavaju u jedinicu Medv. Breg i Croatica; kratkim i jakim riječnim transportom istaloženi u jezersko priobalje
Andraševac	donji panon – gornji pont	lapori s proslorcima pijeska i praha tankouslojeni pijesci, prahovi i prahoviti lapori normalno graduירani prahovi - progradacijski slijed; taloženi u jezerskom okolišu na dubini > 50 m
Hum Zabočki	gornji pont	facijes masivnih pijesaka i prahova - taloženje u deltnom okolišu sa progradacijom u jezerski okoliš
Pluska?	pont-pliocen	heterolitni facijes (glina, prah, pijesak, šljunak i ugljen) i facijes pijeska - taloženje na poplavnim ravninama i pratećim močvarama uz povremene snažne poplave

3.2.2. Pliokvartarne naslage

U vrijeme pliocena i pleistocena, Parathetys je na području Hrvatske obuhvaćao područje južnije od današnje Save i protezao se na istok do današnje Slavonije (Pavelić 2001; Lučić i dr., 2001; Mandić i dr., 2015; Mencin Gale i dr., 2019), dok su Medvednica i njezino prigorje bili kopno (Šikić i dr., 1979; Šikić, 1995). Zbog nedostatka provodnih fosila i ostataka polena u jednom dijelu kvartarnih naslaga vrlo je teško odvojiti pliocenske od pleistocenskih

naslaga pa se često govori o tzv. pliokvartarnim naslagama². Pleistocenske naslage su na geološkoj karti izdvojene uglavnom na područjima nešto viših nadmorskih visina. Zbog čestih vertikalnih i lateralnih izmjena različitih facijesa (tablica 5), nije ih se moglo odijeliti litološki i prostorno tako da su svi facijesi uvršteni u jednu neformalnu litostratigrafsku jedinicu pod nazivom Bistra (Avanić i dr., 2006; Grizelj i dr., 2017a).

Izmjena različitih vrsta facijesa unutar navedene litostratigrafske jedinice koji se mogu pratiti na južnim padinama Medvednice, upućuju na različite okoliše taloženja i različite uvjete sedimentacije. Šikić (1995) navodi da se na području južnih obronaka Medvednice mogu izdvojiti dvije grupe plio-pleistocenskih i pleistocenskih sedimenata koje se razlikuju po sastavu i načinu taloženja. S jedne strane to su šljunci, pijesci, prahovi i gline proluvijalnog, proluvijalno-fluvijalnog, fluvijalnog i fluvijalno-jezerskog porijekla, pretežno zastupljeni u predjelu viših nadmorskih visina istraživanog područja podsljemenske zone. S druge strane, u nižim dijelovima podsljemenske zone, prisutne su glinovito prahovite naslage eolsko-akvatičnog i eolskog porijekla, tzv. kontinentalni (beskarbonatni) i močvarni (karbonatni) les. U skladu s navedenim Grizelj i dr. (2017a) u svojem istraživanju na temelju litoloških, paleontoloških i mineraloških istraživanja, izdvajaju unutar jedinice Bistra tri vrste facijesa koji pripadaju različitim okolišima taloženja; (a) facijes šljunaka i pijesaka u međusobnoj izmjeni s vidljivim usitnjavanjem prema gore koji su karakteristični za okoliš aluvijalne lepeze, odnosno njihovo taloženje je vezano za strujne kanale; (b) facijes prahova i glina bez vidljivih teksturnih karakteristika za koje se pretpostavlja da su istaloženi iz suspenzije u okolišu poplavne ravnice; i (c) facijes kaotičnih sedimenata koji se sastoje od mješavine svih frakcija bez vidljivih gradacijskih karakteristika, a pretpostavka je da su posljedica bujičnih tokova ili klizanja nekonsolidiranog sedimenta.

Tablica 5 Sažeti opis facijesa i uvjeta taloženja neformalne litostratigrafske jedinice pliokvartarnih naslaga na području podsljemenske zone grada Zagreba.

LITOSTRATIGRAFSKA JEDINICA	STAROST	FACIJES I UVJETI TALOŽENJA
Bistra	pliocen – pleistocen (pliokvartar)	<p>facijes šljunaka s lećama pijesaka pijesci s lećama šljunaka glinoviti pijesci i pjeskovite gline glinoviti i pjeskoviti prahovi gline</p> <p>- šljunci upućuju na visoke energetske uvjete taloženja, pijesci su posljedica slabljenja toka vode, prahovi i gline taloženi su iz suspenzije stajaćih voda</p>

² Autori karata koje su korištene kao podloga u ovom istraživanju koriste pojam „pliokvartar“ na temelju superpozicije zbog čega je i u ovom radu zadržana ovakva podjela, no treba napomenuti kako u novijim radovima (Bakrač & Koch, 1999; Grizelj i dr., 2017a) litostratigrafska jedinica Bistra označava sedimente isključivo kvartarne starosti.

3.3. INŽENJERSKOGEOLOŠKI UVJETI U PODSLJEMENSKOJ ZONI

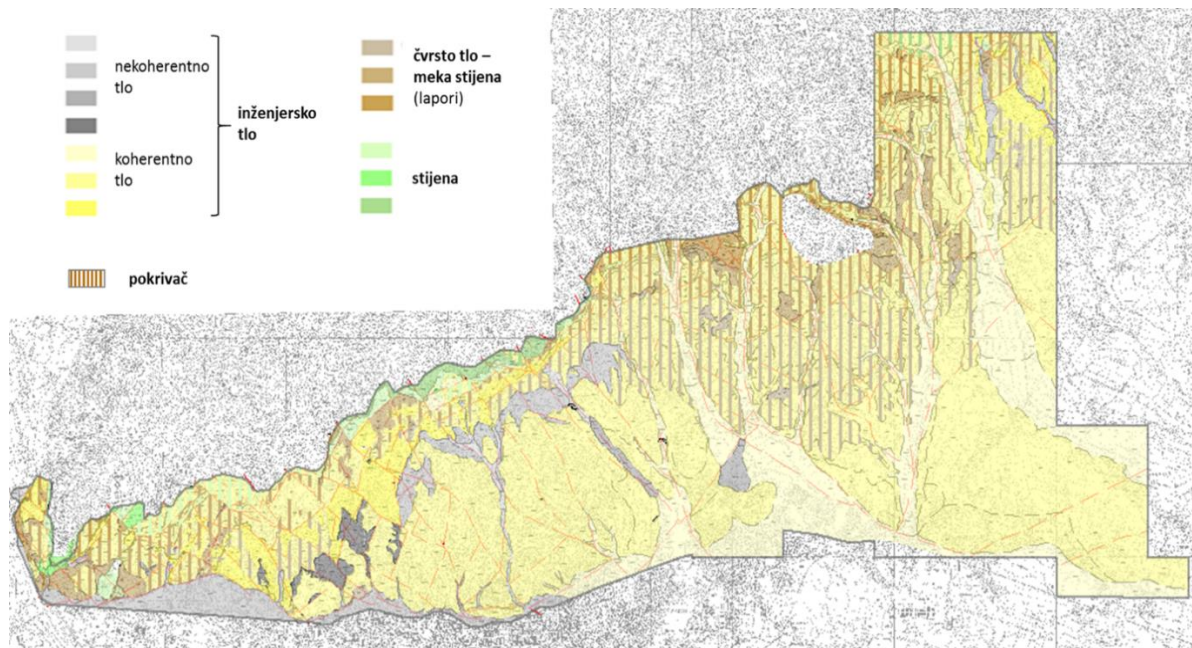
Kao posljedica specifičnih geomorfoloških uvjeta, i geološke građe, te utjecaja antropogenih aktivnosti i klimatskih promjena, na području podsljemenske zone učestala je pojava klizišta. Prema Bernat Gazibara i dr. (2019) približna gustoća klizišta je oko 30 klizišta po kilometru kvadratnom. Pri tome je važno navesti da na ovom području uglavnom nastaju plitka klizišta (prosječna dubina 2-10 m) relativno male površine (oko 700 m²) (Mihalić Arbanas i dr., 2012; Bernat Gazibara i dr, 2019). Iz navedenog proizlazi da su značajke materijala koji izgrađuju površinske naslage jedan od značajnijih preduvjeta za nastanak klizišta. Detaljniji podaci o inženjerskogeološkim karakteristikama površinskih naslaga opisani su u kartama DIGK M 1:5.000 – FAZA I (Miklin i dr., 2007) i DIGK 1:5000 – FAZA II (Miklin i dr., 2018). U okviru navedenih karata prikazane su osnovne inženjerskogeološke jedinice površinskih naslaga, intepretirane na osnovi podataka dobivenih terenskim i laboratorijskim istraživanjima na uzorcima iz više stotina bušotina izvedenih u razdoblju od 2007 – 2017. godine.

3.3.1. Inženjerskogeološke jedinice prema digk 1:5000

Prema DIGK – FAZA 1 (slika 4), sve osnovne inženjerskogeološke jedinice, prisutne na površini podsljemenske zone, grupirane su u tri grupe materijala: inženjersko tlo, čvrsto tlo-meka stijena (laporovite naslage) i stijene.

Unutar grupe inženjerskih tala razlikuju se: (1) nekoherentna tla, pjeskovita i šljunkovita, s podređenim udjelom gline i praha; te (2) koherentna tla, glinovita i prahovita, s podređenim udjelom pjeska i šljunka. Inženjerskogeološke jedinice označene su bojama prema kojima žuta boja označava koherentna tla, siva boja označava nekoherentna tla, a smeđa boja označava čvrsto tlo – meku stijenu. Intenzitet sive boje prikazuje relativnu zbijenost tla na način da tamnije nijanse sive označavaju jače zbijena tla, a svjetlijim bojama označena su slabije zbijena tla. Intenzitet žute boje označava također relativnu zbijenost tla na način da tamnija žuta boja označava jače zbijena tla, a svjetlija žuta označava slabije zbijena tla.

Iz karte prikazane na slici 4 vidljivo je da na površini podsljemenske zone dominiraju koherentna tla prisutna na približno oko 70% površine. Za razliku od toga, nekoherentna tla prisutna su na oko 15 % površine.



Slika 4 Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske urbanizirane zone grada Zagreba, originalnog mjerila 1:5000 (Miklin i dr., 2007)

Posebna grupa materijala, zastupljena u podsljemenskoj zoni, su materijali čvrstog tla – meke stijene, koji imaju karakteristike i tla i stijena. Prema litološkom sastavu to su uglavnom laporovite naslage označene na karti nijansama smeđe boje, koje zauzimaju 10% područja. Različite nijanse smeđe boje prikazuju jednoosnu tlačnu čvrstoću materijala na način da je čvršći materijal tamnijih nijansi, a slabiji svjetlijih nijansi. Čvrste stijene prekrivaju najmanji udio ukupne površine podsljemenske zone (oko 5%). To su uglavnom karbonatne stijene, a pješčenjaci i konglomerati su znatno manje zastupljeni. Različite nijanse zelene boje simboliziraju tri grupe klasificirane prema vrijednostima jednoosne tlačne čvrstoće.

Posebno su izdvojena područja na kojima je prisutna veća debljina transportiranih naslaga koje su interpretirane kao naslage pokrivača. Za ove naslage se navodi da se sastoje od tzv. „sekundarnih glina“ nastalih raspadanjem sedimenata iz podloge i taloženjem transportiranog materijala iz hipsometrijski viših predjela. Iz opisa se zaključuje da su to deluvijalne naslage. Također se koristi i termin „primarna glina“ pod kojim se podrazumijevaju naslage rezidualnih tala i matičnih stijena kvartarne i miocenske starosti.

3.3.2. Vrste i osnovna obilježja sitnozrnatih tala podsljemenske zone

Za prikaz vrsta i osnovnih obilježja sitnozrnatih tala podsljemenske zone korišteni su rezultati laboratorijskih ispitivanja provedenih tijekom izrade DIGK – FAZA 1 (Miklin i dr., 2007). Ispitivanja su provedena na ukupno 870 uzoraka tala gornjomiocenske i pliokvartarne

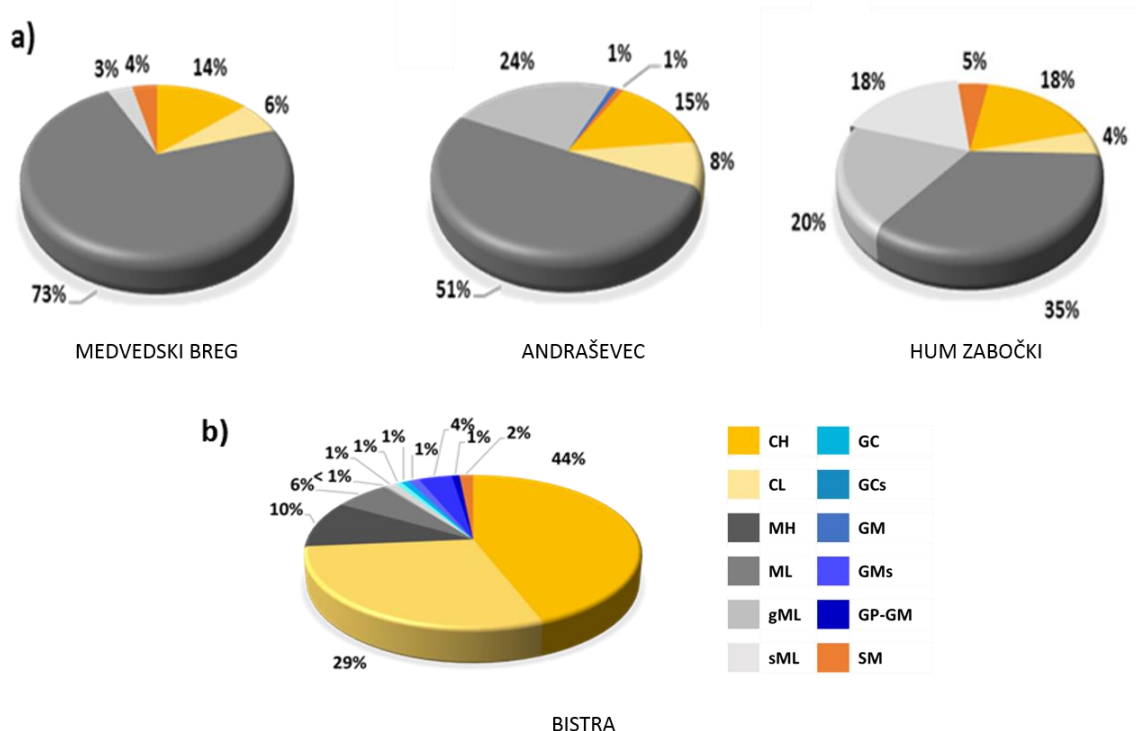
stratigrafske pripadnosti. U okviru ovog rada provedena je geomehanička klasifikacija prema USCS klasifikaciji (ASTM D 2487–11, 2006). Klasifikacijom je utvrđeno nekoliko vrsta sitnozrnastih tala gornjomiocenske i pliokvartarne starosti. U tablici 6 prikazane su vrste tala s rasponima granica tečenja i plastičnosti te indeksa plastičnosti grupirani po neformalnim litostratigrafskim jedinicama prema Kovačić (2004). Ukupno gledajući, dominiraju visokoplastični i niskoplastični prahovi (MH, ML, sML, gML) te visokoplastične i niskoplastične gline (CH, CL), a podređeno su zastupljeni pijesci i šljunci.

Tablica 6 Vrste tla unutar litostratigrafskih jedinica gornjomiocenskih i pliokvartarnih naslaga i njihova fizička svojstva (granice plastičnosti i granulometrijski sastav); wl – granica tečenja, wp – granica plastičnosti, IP – indeks plastičnosti, G-šljunak, S-pijesak, M-prah, C-glina

VRSTE TLA PREMA USCS KLASIFIKACIJI			GORNJI MIOCEN					
PUNI NAZIV		SIMBOL	MEDVEDSKI BREG	ANDRAŠEVEC	HUM ZABOČKI			
GLINE (62 uzorka)	MASNE GLINE	CH	55 < wl < 85% 25 < wp < 35% 25 < IP < 55	50 < wl < 65% 25 < wp < 30% 25 < IP < 35	55 < wl < 70% 25 < wp < 30% 25 < IP < 40			
	POSNE GLINE	CL	30 < wl < 45% 20 < wp < 25% 10 < IP < 25	šljunak 5% pijesak 25% prah 30% glina 40%	45 < wl < 50% 25 < wp < 30% 15 < IP < 20	45 < wl < 50% 20 < wp < 30% 20 < IP < 25		
PRAHOVI (213 uzorka)	ELASTIČNI PRAH	MH	50 < wl < 90% 30 < wp < 45% 15 < IP < 50	pijesak 1-5% prah 50-75% glina 20-50%	50 < wl < 80% 30 < wp < 55% 15 < IP < 45	pijesak do 2% prah 50 – 70% glina 35 – 50%	50 < wl < 60% 25 < wp < 40% 15 < IP < 30	pijesak 5% prah 70% glina 25%
	PRAH	ML	40 < wl < 50% 25 < wp < 30% 15 < IP < 20	40 < wl < 50% 25 < wp < 35% 10 < IP < 20	45 < wl < 50% 25 < wp < 40% 10 < IP < 20	pijesak 15-25% Prah 55 – 70% Glina 5 – 20%		
	PJESKOVITI PRAH	sML	/	pijesak ~ 40% prah ~ 45% glina ~ 15%	35 < wl < 50% 20 < wp < 35% 10 < IP < 20	šljunak do 1% pijesak 35-45% prah 45 – 60% glina 5 – 25%		

VRSTE TLA PREMA USCS KLASIFIKACIJI			PLIOKVARTAR		
PUNI NAZIV		SIMBOL	BISTRA		
GLINE (434 uzorka)	MASNE GLINE	CH	50 < wl < 105% 20 < wp < 40% 25 < IP < 70	šljunak do 1% pijesak 2 – 10%	prah 35 – 60% glina 40 – 60%
	POSNE GLINE	CL	30 < wl < 50% 20 < wp < 30% 7 < IP < 30		
PRAHOVI (100 uzorka)	ELASTIČNI PRAH	MH	50 < wl < 95% 25 < wp < 45% 10 < IP < 55	prah ~ 70%, glina ~ 20%,	pijesak ~10%
	PRAH	ML	35 < wl < 50% 20 < wp < 35% 5 < IP < 25	šljunak 0 – 10% pijesak 5 – 30%	prah 50 – 75% glina 10 – 30%
	ŠLJUNKOVITI PRAH	gML	šljunak ~ 30% pijesak ~20%	prah ~ 40% glina ~ 15%	
	PJESKOVITI PRAH	sML	šljunak 0 – 20% pijesak 20 – 40%	prah 40 – 60% glina 5 – 20%	

U litostratigrafskim jedinicama gornjeg miocena dominiraju prahovi pri čemu njihova relativna zastupljenost pada idući prema mlađim jedinicama (slika 5). Prahovita tla su zastupljena u približno 75% uzoraka. Iz slike 5 vidljivo je kako se unutar litostratigrafskih jedinica gornjeg miocena udio visokoplastičnih prahova (MH) postepeno smanjuje idući prema mlađim jedinicama, a povećava se udio niskoplastičnih vrsta prahova (ML, sML). Udio uzoraka koji predstavljaju glinovita tla (CH, CL) ujednačen je u sve tri litostratigrafske jedinice te iznosi 20 - 23%. Krupnozrnasta frakcija prisutna je najvećim dijelom u obliku prahovitih pijesaka (SM) koji su zastupljeni s 4 – 5% u jedinicama Medvedski Breg i Hum Zabočki, dok su u jedinici Andraševac zastupljeni samo s 1%.

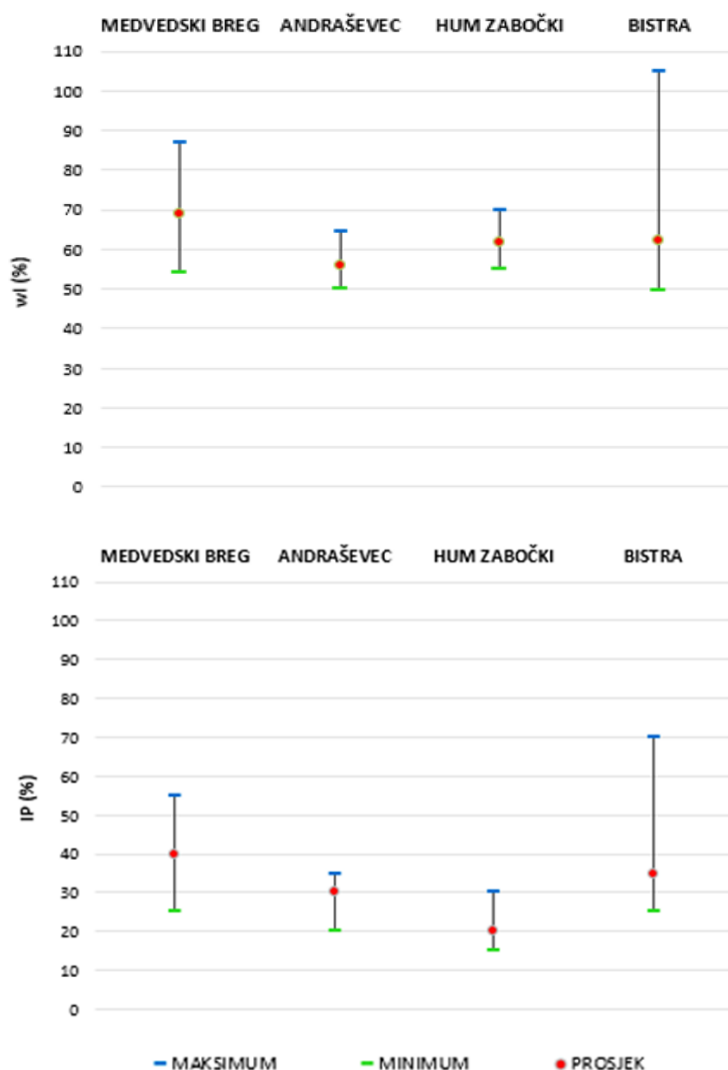


Slika 5 Vrste tala i relativna zastupljenost u uzorcima ispitanim u okviru projekta DIGK-FAZA I (Miklin, 2007). Prikaz po neformalnim litostratigrafskim jedinicama prema Kovačić (2004) unutar gornjomiocenskih (a) i pliokvartarnih naslaga (b).

Unutar litostratigrafske jedinice Bistra u gotovo 75% uzoraka dominiraju glinovita tla. Od toga na visokoplastične gline otpada 44%, dok na niskoplastične gline otpada 29% uzoraka. Prahovi su mnogo manje zastupljeni, s tek 17% uzoraka. Krupnozrnasta tla zastupljena su s oko 9% među kojima definitivno dominiraju različite vrste šljunaka (GC, GCs, GM, GMs, GP-GM), dok su pjeskovita tla zastupljena u tek 1% uzoraka.

Analizom podataka prikazanih u tablici 6 dobiveni su podaci o rasponima i prosječnim vrijednostima granica tečenja i indeksa plastičnosti za sitnozrnasta tla iz pojedine

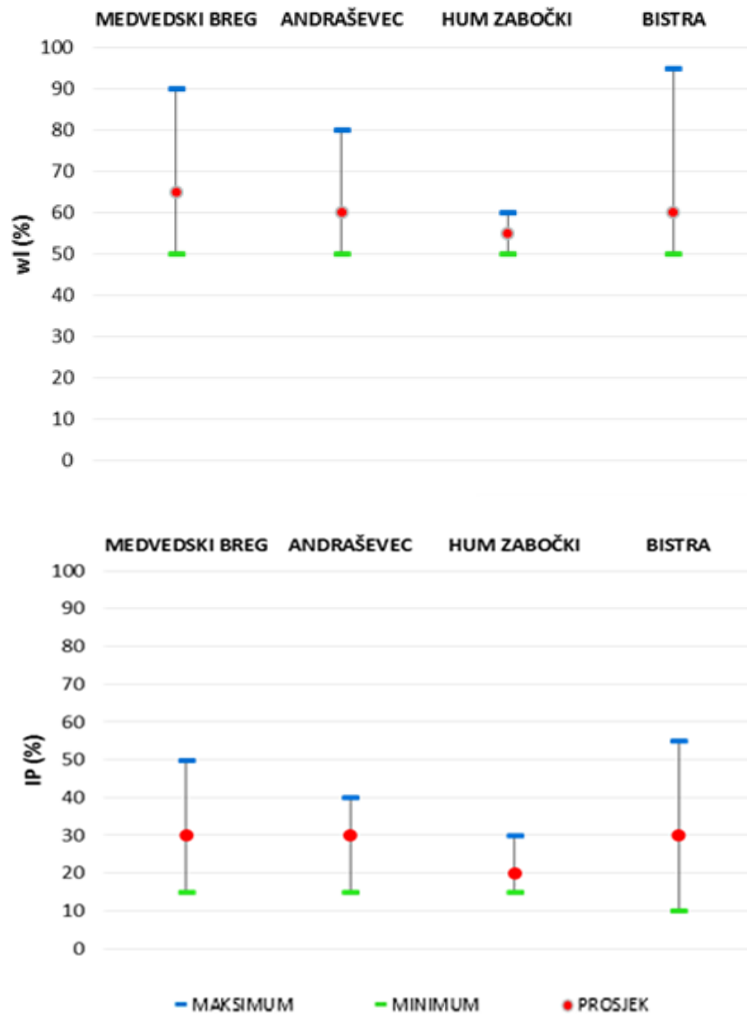
litostratigrafske jedinice (slika 6 i 7). Vidljivo je iz navedenih grafova kako visokoplastične gline (CH) iz jedinice Medvedski Breg imaju prosječnu vrijednost granice tečenja (WL) oko 70%, dok se ta vrijednost kod visokoplastičnih glina iz drugih litostratigrafskih jedinica kreće između 55 i 65%. Isto tako, primjetno je kako granice tečenja za visokoplastične gline iz jedinice Bistra imaju vrlo veliki raspon između minimalnih i maksimalnih vrijednosti. Vrlo slično se događa i s indeksom plastičnosti (IP) koji najveću varijabilnost pokazuje u glinama iz jedinice Bistra, dok su prosječne vrijednosti indeksa plastičnosti najveće za gline iz jedinice Medvedski Breg (IP=40).



Slika 6 Grafički prikaz promjena u vrijednostima granica tečenja (wl) i indeksa plastičnosti (IP) masnih glina (CH) u pojedinim litostratigrafskim jedinicama (Martinčević Lazar i dr., 2017).

Na slici 7 prikazani su rasponi i prosječne vrijednosti granice tečenja i indeksa plastičnosti visokoplastičnih prahova (MH). Kao i kod glina, najveća varijabilnost u granicama tečenja vidljiva je kod prahova iz jedinice Bistra (50 – 95%), dok su prosječne vrijednosti granice tečenja najviše kod prahova iz jedinice Medvedski Breg (oko 65%).

Najmanju varijabilnost kao i najmanje prosječne vrijednosti granice tečenja imaju prahovi iz jedinice Hum Zabočki. Za razliku od glina, prosječne vrijednosti indeksa plastičnosti prahova u jedinica Medvedski Breg, Andraševac i Bistra su iste (IP = 30).



Slika 7 Grafički prikaz promjena u vrijednostima granica tečenja (wl) i indeksa plastičnosti (IP) masnih glina (CH) u pojedinim litostratigrafskim jedinicama (Martinčević Lazar i dr., 2017).

Osim navedenih ispitivanja na 7 uzoraka gornjomiocenske i 10 uzoraka pliokvatarne starosti, analiziran je i mineralni sastav (tablica 7). Prema mineraloškoj analizi cjelovitih uzoraka glavni konstituenti inženjerskih tala gornjomiocenske starosti su kalcit, kvarc, tinjci, feldspati i minerali glina dok se kao sporedni minerali javljaju željezoviti oksidi i hidroksidi, dolomit, amfiboli, rutil i ilmenit. Od minerala glina najdominantniji su smektit, klorit i kaolinit. Glavni minerali u tlima pliokvatarne starosti su kvarc, tinjci, feldspati i minerali glina, dok su kao sporedni minerali prisutni željezoviti oksidi i hidroksidi, amfiboli i rutil. U frakciji manjoj od 2 μm prevladavaju uglavnom vermikuliti i kaolinit, dok su smektit, klorit i illit sporedne mineralne vrste. Ovakav mineralni sastav posljedica je karakterističnog okoliša

taloženja u kojem su navedeni sedimenti bili istaloženi, odnosno procesa trošenja kojima su bili izloženi nakon taloženja.

Uspoređujući vrijednosti Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti s količinom glinovite komponente u uzorcima te karakterističnim mineralnim sastavom (tablica 7) može se pretpostaviti da na osnovna svojstva glina i prahova gornjomiocenske starosti utjecaj imaju smektit i klorit, dok na svojstva sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti najveći utjecaj imaju vermikulit i kaolinit.

Tablica 7 Mineralni sastav i relativni udio pojedinih mineralnih vrsta u uzorcima sitnozrnastih tala gornjomiocenske i pliokvartarne starosti analiziranih tijekom DIGK – FAZA I (Miklin i dr., 2007). *Tablica se nastavlja na sljedeću stranicu*

GORNJI MIOCEN											
KVANTITATIVNA ANALIZA CJELOKUPNOG UZORKA (maseni udio izražen u %)											
LITOSTR. JEDINICA	UZORAK	VRSTA TLA	Cal	Dol	Qtz	Ms	Kln	Il+Ch+Sm+Vr	Fs	FeOx	Ostalo
MEDVEDSKI BREG	288/ZG23	MH	69	-	10	6	3	3	1	3	5
	392/ZG22	MH	68	-	13	8		5		4	2
ANDRAŠEVEC	209/ZG22	CH	20	-	20	18	10	6	10	8	8
	645/ZG14	MH	59	-	13	8	4	5	2	4	5
HUM ZABOČKI	398/ZG32	sML	18	-	32	15	-	15	10	5	5
	495/ZG24	sML	17	8	34	13	-	10	5	5	8
	666C/ZG15	MH	-	6	35	20	-	10	15	7	7

KVALITATIVNA ANALIZA GLINOVITE FRAKCIJE (< 2 μm)									
LITOSTR. JEDINICA	UZORAK	VRSTA TLA	Sm	Vr	Il	Ch	Kln		
MEDVEDSKI BREG	288/ZG23	MH	+	-	+	+	+		
	392/ZG22	MH	+	-	+	+	-		
ANDRAŠEVEC	209/ZG22	CH	+	-	-	+	+		
	645/ZG14	MH	+	-	+	+	+		
HUM ZABOČKI	398/ZG32	sML	+	-	-	+	-		
	495/ZG24	sML	+	-	-	+	-		
	666C/ZG15	MH	+	+	-	+	-		

PLIOKVARTAR											
KVANTITATIVNA ANALIZA CJELOKUPNOG UZORKA (maseni udio izražen u %)											
LITOSTR. JEDINICA	UZORAK	VRSTA TLA	Cal	Dol	Qtz	Ms	Kln	Il+Ch+Mnt+Vr	Fs	FeOx	ostalo
	658 df1 (crveni)	MH	-	-	10	-	20	5	38	16	11
	658 df2 (sivi)	MH	-	-	7	-	56	5	13	11	8
	728/ZG25	CH	-	-	30	20	20	7	10	8	5
	395C/ZG32	CL	-	-	40	20	10	5	10	6	9
	434/ZG24	CL	-	-	45	13	10	6	10	9	7
BISTRA	1339a/ZG18	CL	-	-	34	20	15	8	10	7	6
	2006B/ZG23	CL	-	-	36	20	15	5	10	7	7
	415/ZG24	sML	-	-	34	20	15	5	10	8	8
	1366a/ZG17	ML	-	-	43	15	10	5	10	8	9
	1447a/ZG19	ML	-	-	29	20	20	5	10	8	8
	1447b/ZG20	ML	-	-	29	20	20	5	10	9	7

KVALITATIVNA RENTGENSKA ANALIZA GLINOVITE FRAKCIJE (< 2 μm)							
LITOSTR. JEDINICA	UZORAK	VRSTA TLA	Sm	Vr	Il	Ch	Kln
	658 df1 (crveni)	MH	-	+	-	-	+
	658 df2 (sivi)	MH	-	+	-	-	+
	728/ZG25	CH	-	+	-	-	+
	395C/ZG32	CL	+	-	-	-	+
	434/ZG24	CL	-	+	+	-	+
BISTRA	1339a/ZG18	CL	-	+	-	+	+
	2006B/ZG23	CL	+	-	-	-	+
	415/ZG24	sML	+	+	-	-	+
	1366a/ZG17	ML	-	+	-	+	+
	1447a/ZG19	ML	-	+	+	+	+
	1447b/ZG20	ML	-	+	+	-	+

Cal - kalcit, Dol – dolomit, Qtz – kvarc, Ms – muskovit, Kln – kaolinit, Il – illit, Ch – klorit, Sm – smektit, Vr – vermikulit, Fs – feldspati, FeOx – željezoviti oksidi i hidroksidi, ostalo – amfiboli, rutil, pirit, ilmenit, (+) – mineral prisutan u uzorku, (-) – mineral odsutan iz uzorka

4. METODE ISTRAŽIVANJA

4.1. TERENSKA ISTRAŽIVANJA

Terenska istraživanja provedena su u razdoblju od 2015. do 2016. godine u sklopu projekta Hrvatskog geološkog instituta za izradu DIGK 1:5000 – FAZA II. U navedenom razdoblju na području podsljemenske zone izveden je 30 istražnih bušotina dubine 35 m. U ovom poglavlju dani su podaci o četiri bušotine koje su poslužile za determinaciju jezgre, kao i za prikupljanje 59 uzoraka za laboratorijska ispitivanja mineralnog sastava i fizičkih svojstava sitnozrnastih tala.

4.1.1. Opis tla i uzorkovanje

Za prikupljanje reprezentativnih uzoraka sitnozrnastih tala gornjomiocenske i pliokvartarne starosti odabrane su četiri istražne bušotine dubine 35 m s lokacija Črešnjevec (bušotina P7/8-B1), Krematorij (bušotina P7-B2), Sjeverna ulica (bušotina P9-B4) i Dobrodolski Brijeg (bušotina P11-B4a). Točne lokacije bušotina navedene su u tablici 8.

Tablica 8 Oznake bušotina s geografskim koordinatama

BUŠOTINA	LOKACIJA	DUBINA (m)	N	E
P7/8-B1	Črešnjevec	35	5079365.15	460826.75
P7-B2	Krematorij	35	5078337.17	459972.81
P9-B4	Sjeverna Ulica	35	5078277.29	464121.01
P11-B4a	Dobrodol breg	35	5080272.05	468553.31

Terenska identifikacija i opis tla iz jezgre bušotina provedeni su prema USCS geomehaničkoj klasifikaciji (USBR, 2001). Rezultati su prikazani na inženjerskogeološkim presjecima bušotina.

Ukupno je prikupljeno 59 uzoraka sitnozrnastih tala, od čega 38 uzoraka pliokvartarne starosti i 21 uzorak gornjomiocenske starosti (tablica 9). Stratigrafska pripadnost uzorkovanih tala određena je na temelju postojećih podataka iz literature (Višić, 2012., Martinčević Lazar i dr., 2018), kao i dokumentacije o istražnim radovima provedenim za potrebe sanacije klizišta (Mihalinec i dr., 2002; Kordek i dr., 2004; Šiša i dr., 2013; Vrana i dr., 2013; Pećina i dr., 2014).

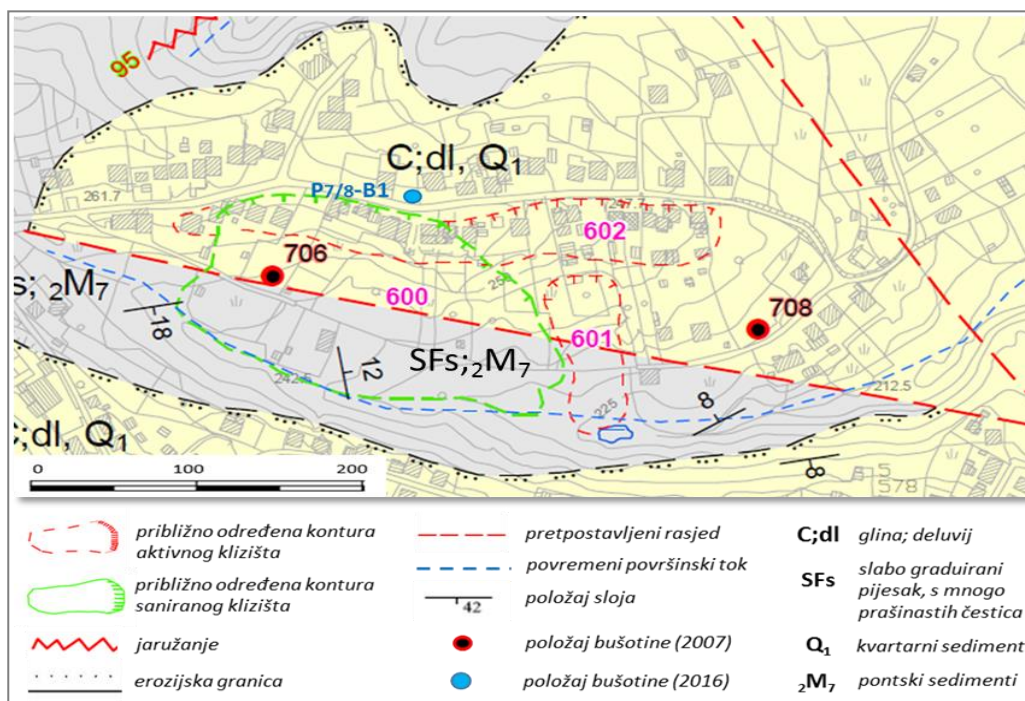
Tablica 9 Popis i terenski opis uzoraka iz bušotina korištenih za uzorkovanje za potrebe disertacije. Narančasto su označeni uzorci pliokvartarne stratigrafske pripadnosti, a plavo uzorci gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti. *Tablica se nastavlja na sljedeću stranicu.*

<i>BUŠOTINA</i>	<i>UZORAK</i>	<i>DUBINA (m)</i>	<i>TERENSKI OPIS UZORKA</i>
<i>P7/8-B1</i>	Č-3	1,30-1,60	<i>prahovita glina, visoko plastična, lako gnječiva, crvenosmeđe boje</i>
	Č-5	2,60-3,00	<i>glinoviti prah, niskoplastičan, lako gnječiv, crveno smeđe boje</i>
	Č-6	5,70-6,00	<i>glinoviti prah, niskoplastičan, lako gnječiv, crvenosmeđe boje</i>
	Č-7	7,70-8,00	<i>glinoviti prah, niskoplastičan, lako gnječiv, smeđe boje</i>
	Č-9	10,30-10,60	<i>glinoviti prah, niskoplastičan, lako gnječiv, smeđe boje</i>
	Č-13	14,40-14,60	<i>glinoviti prah s pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	Č-14	15,00-15,30	<i>prahovita glina, niskoplastična, srednje gnječiva, žutosmeđe boje</i>
	Č-18	17,50-17,75	<i>glina, visokoplastična, teško gnječiva, crvene boje s uklopcima sivog praha</i>
	Č-22	20,00-20,30	<i>glina, visokoplastična, teško gnječiva, crvene boje s uklopcima sivog praha</i>
	Č-23	21,10-21,50	<i>pjeskoviti prah s glinom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	Č-24	21,70-22,00	<i>pjeskoviti prah s glinom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	Č-27	23,50-23,80	<i>pjeskoviti prah s glinom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	Č-34	26,70-27,00	<i>prah s glinom i pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, sivosmeđe boje</i>
	Č-39	31,50-31,70	<i>prah s glinom i pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, sivosmeđe boje</i>
Č-40	34,75-35,00	<i>prah s glinom i pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, sivosmeđe boje</i>	
<i>P7-B2</i>	KR-2	0,85-1,00	<i>glina, visokoplastična, teško gnječiva, narančastosmeđe boje</i>
	KR-3	1,60-1,90	<i>glina, visokoplastična, teško gnječiva, narančastosmeđe boje</i>
	KR-4	2,70-2,90	<i>glinoviti prah, visokoplastičan, teško gnječiv, narančastosmeđe boje</i>
	KR-6	7,65-7,90	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	KR-7	10,30-10,50	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	KR-8	11,55-11,85	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	KR-12	16,50-16,80	<i>glinoviti prah s pijeskom, visokoplastičan, teško gnječiv, narančastosmeđe boje</i>
	KR-14	19,65-19,90	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, narančastosmeđe boje,</i>
	KR-15	20,70-20,90	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, narančastosmeđe boje</i>
	KR-17	24,15-24,50	<i>glinoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, narančastosmeđe boje</i>
KR-18	25,10-25,50	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, narančastosmeđe boje</i>	

	KR-20	27,70-28,00	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, narančastosmeđe boje</i>
	KR-21	28,70-29,00	<i>glinoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, narančastosmeđe boje</i>
	KR-22	31,30-31,50	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, narančastosmeđe boje</i>
P9-B4	SU-1	1,50-1,90	<i>glinoviti prah, niskoplastičan, teško gnječivo, žutosmeđe boje</i>
	SU-2	3,00-3,45	<i>prahovita glina, visokoplastična, teško gnječiva, žutosmeđe boje</i>
	SU-3	5,50-5,80	<i>prahovita glina, niskoplastična, teško gnječiva, žutosmeđe boje</i>
	SU-4	7,00-7,45	<i>prahovita glina, visokoplastična, teško gnječiva, žutosmeđe boje</i>
	SU-5	8,50-8,80	<i>glinoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	SU-6	10,00-10,45	<i>glina, visokoplastična, teško gnječiva do polučvrsta, crvenosmeđe boje</i>
	SU-7	11,50-11,95	<i>glina, visokoplastična, teško gnječiva, žutosmeđe boje</i>
	SU-8	12,50-12,70	<i>glina, visokoplastična, teško gnječiva, crvenosmeđe boje s proslojcima sivog praha</i>
	SU-9	14,00-14,45	<i>glinoviti prah s pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	SU-10	15,50-15,95	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	SU-13	20,50-20,95	<i>glinoviti prah s pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	SU-14	22,10-22,55	<i>glinoviti prah s pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	SU-15	22,80-23,00	<i>glinoviti prah s pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
	SU-17	26,60-27,00	<i>glinoviti prah, visokoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje prošaran s proslojcima sive boje</i>
	SU-18	27,00-27,45	<i>glinoviti prah, visokoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje prošaran s proslojcima sive boje</i>
	SU-20	30,00-30,45	<i>glinoviti prah s pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>
SU-21	31,50-31,80	<i>glinoviti prah s pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>	
SU-22	31,80-32,00	<i>glinoviti prah s pijeskom, niskoplastičan, teško gnječiv, žutosmeđe boje</i>	
SU-24	33,30-33,50	<i>prahovita glina, visokoplastična, teško gnječiva do polučvrsta, crvene boje s laminama i lećama sive boje</i>	
SU-25	35,00-35,50	<i>prahovita glina, visokoplastična, teško gnječiva do polučvrsta, crvene boje s laminama i lećama sive boje</i>	
P11-B4a	DBD-1	3,70-4,00	<i>prah, visokoplastičan, teško gnječiv, sivosmeđe boje</i>
	DBD-3	7,70-8,00	<i>pjeskoviti prah, niskoplastičan, teško gnječiv, sivosmeđe boje</i>
	DBD-6	12,00-12,30	<i>prah, niskoplastičan, teško gnječiv, sivosmeđe boje</i>
	DBD-7	14,20-14,50	<i>prah, niskoplastičan, teško gnječiv, sivosmeđe boje</i>
	DBD-8	16,30-16,60	<i>glinoviti prah, visokoplastičan, teško gnječiv, sive boje</i>
	DBD-9	20,70-21,00	<i>glinoviti prah, visokoplastičan, teško gnječiv, sive boje</i>
	DBD-10	23,00-23,45	<i>prah, niskoplastičan, teško gnječiv, sive boje</i>
	DBD-11	26,00-26,45	<i>prah, niskoplastičan, teško gnječiv, sive boje</i>
	DBD-12	29,00-29,30	<i>prah, visokoplastičan, teško gnječiv, sive boje</i>
	DBD-15	34,40-34,70	<i>prah, visokoplastičan, teško gnječiv, sive boje</i>

4.1.1. Istražna bušotina P7/8-B1

Istražna bušotina P7/8-B1 smještena je u ulici Črešnjevec na području gradske četvrti Maksimir. Prema Osnovnoj geološkoj karti, list Zagreb (Šikić i dr., 1979), podacima iz Jurak & Mihalić (1990) i DIGK – FAZA I (Miklin i dr., 2007) na ovoj lokaciji pliokvartarni sedimenti naliježu diskordantno na naslage gornjeg miocena, točnije gornjeg pontaa. Na slici 6 prikazan je isječak iz DIGK s prikazom površinskog rasprostiranja glinovitih pliokvartarnih i pjeskovitih gornjomiocenskih naslaga na području Črešnjevca. Na istoj karti gornjomiocenske naslage, točnije gornjopontske starosti označene su simbolom za slabo graduirane pijeske (SFs), s većim udjelom praha. Bušotina na kojoj je izvršeno uzorkovanje smještena je na vrhu padine nasuprot aktivnog klizišta (Mihalić Arbanas i dr., 2014). Iz ove bušotine prikupljeno je ukupno 15 uzoraka, od čega 7 uzoraka sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti i 8 uzoraka gornjomiocenske starosti (slika 8).



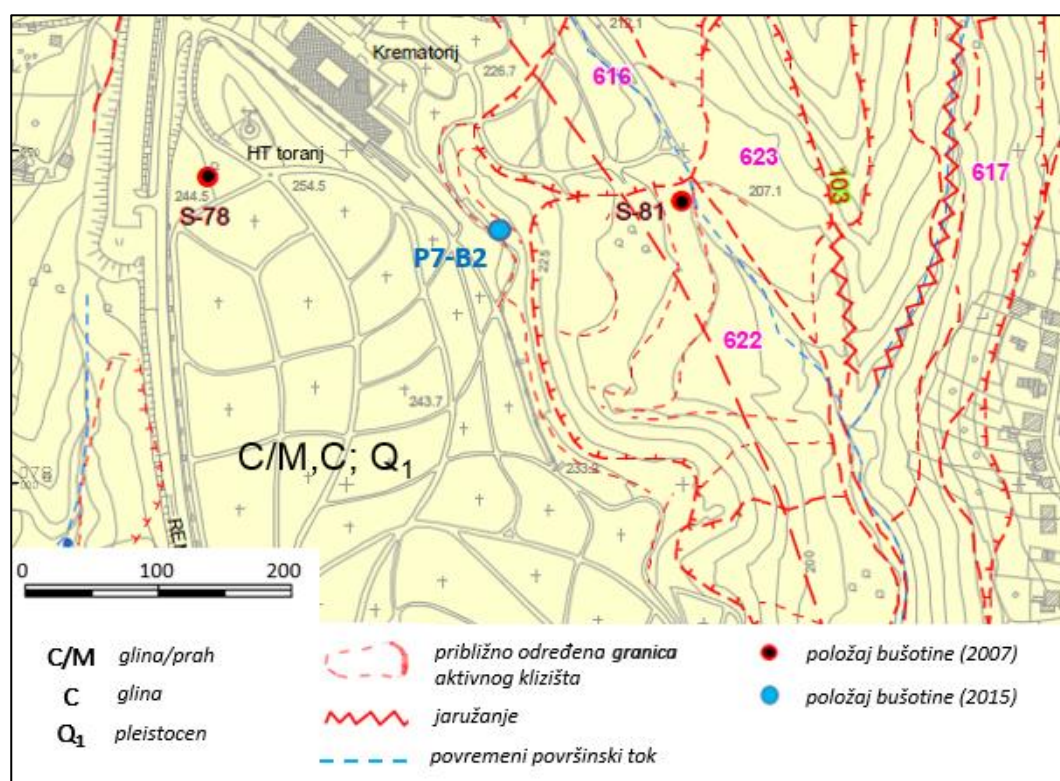
Slika 8 Položaj bušotine P7/8-B1 na lokaciji Črešnjevec, prikazan na isječku DIGK originalnog mjerila 1:5.000 (Miklin i dr., 2007)



Slika 9 Jezgra bušotine P7/8 – B1 (lokacija Črešnjevce) dubine 35 m s oznakama mjesta uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja

4.1.2. Istražna bušotina P7-B2

Istražna bušotina P7-B2, dubine 35 m, smještena je u krugu gradskog groblja Krematorij na području gradske četvrti Gornji grad – Medveščak. Ovaj dio terena izgrađen je od pliokvartarnih naslaga (Q_1) sastavljenih od glina i prahova s lećama pijesaka i šljunaka (slika 10). Bušotina P7-B2 smještena je kraj klizišta za koji su provedena geotehnička istraživanja 2013. godine (Vrana i dr., 2013). Iz ove bušotine prikupljeno je ukupno 14 uzoraka sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti (slika 11).



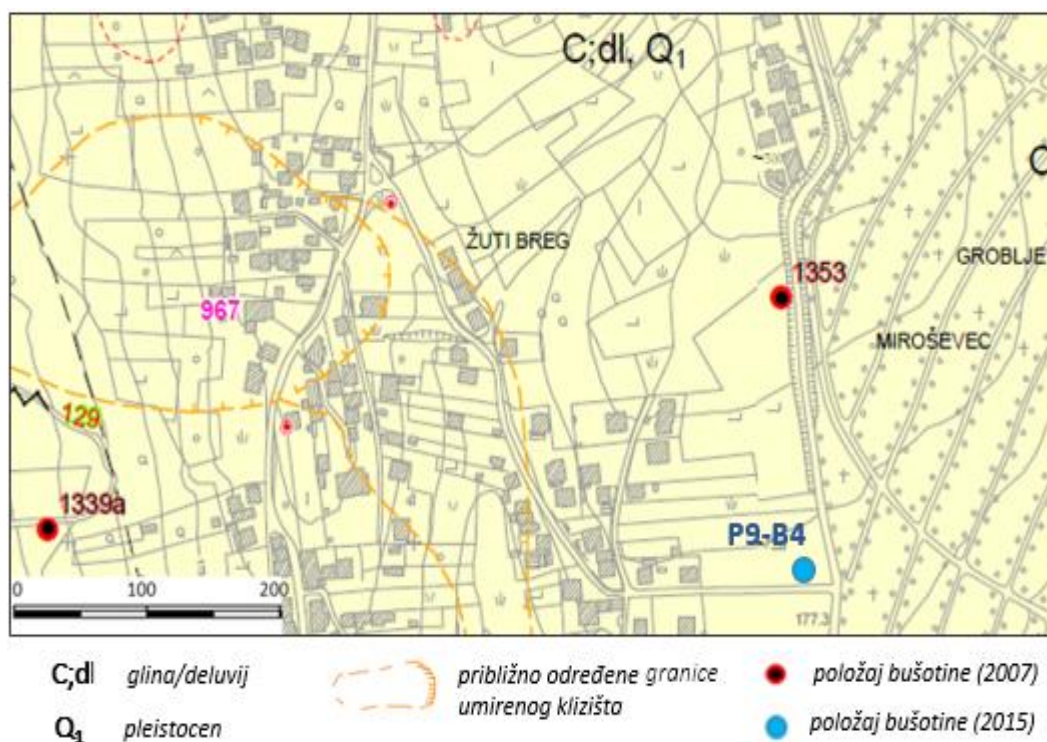
Slika 10 Položaj bušotine P7-B2 na gradskom groblju Krematorij prikazan na isječku DIGK originalnog mjerila 1:5.000 (Miklin i dr., 2007)



Slika 11 Jezgra bušotine P7- B2 (lokacija Krematorij), dubine 35 m s oznakama mjesta uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja

4.1.3. Istražna bušotina P9-B4

Istražna bušotina P9-B4, dubine 35 m, nalazi se u Sjevernoj ulici u gradskoj četvrti Gornja Dubrava. Prema postojećim geološkim kartama ovo područje izgrađeno je od sedimenata pliokvartarne starosti (slika 12). Za potrebe izrade disertacije, za ovo područje dostupni su bili samo rezultati istraživanja provedenih u okviru projekta izrade DIGK 1:5000 (Miklin i dr., 2007) u sklopu kojih je na 2 točke, međusobno udaljene oko 500 m prikupljeno po 2 uzorka na kojima su provedena određena geomehanička ispitivanja. Iz bušotine P9-B4 prikupljeno je ukupno 20 uzoraka sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti (slika 13).



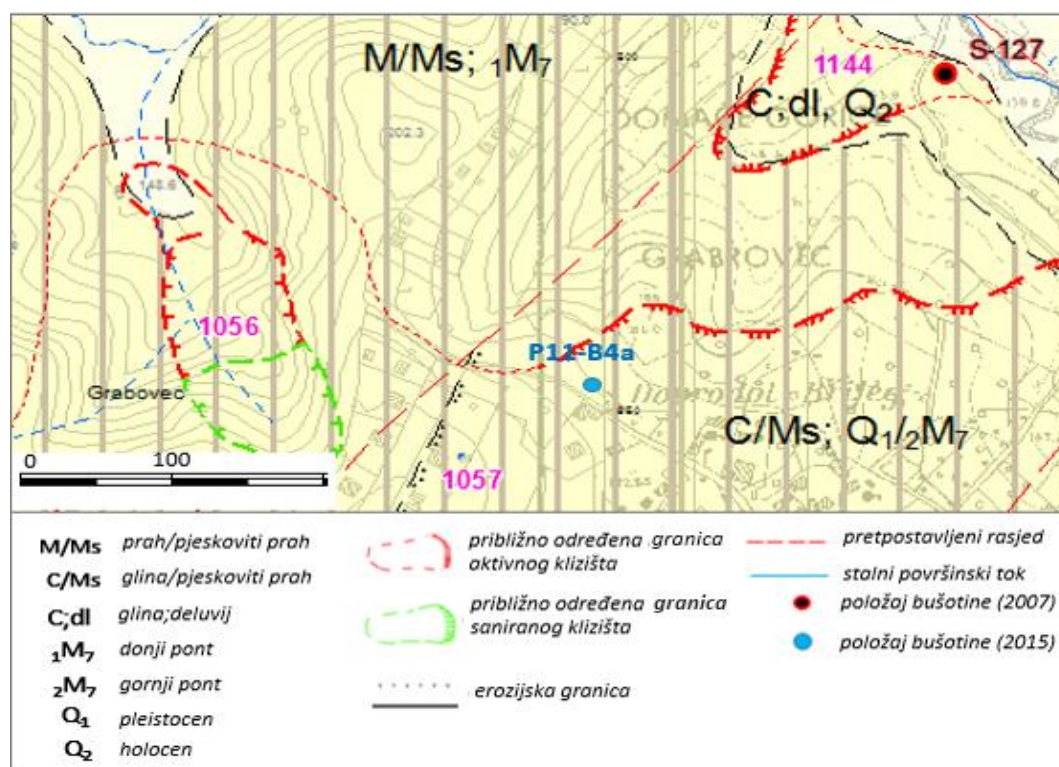
Slika 12 Položaj bušotine P9-B4 u Sjevernoj ulici prikazan na na isječku DIGK originalnog mjerila 1:5.000 (Miklin i dr., 2007)



Slika 13 Jezgra bušotine P9– B4 (lokacija Sjeverna ulica), dubine 35 m s oznakama mjesta uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja

4.1.4. Istražna bušotina P11-B4a

Istražna bušotina P11-B4a, dubine 35 m, nalazi se u ulici Dobrodolski Brijeg na području gradske četvrti Sesvete. Smještena je neposredno uz aktivno klizište na kojem su izvedena geotehnička istraživanja za potrebe projekta sanacije (Šiša i dr., 2013; Pećina i dr., 2014). Prema podacima iz DIGK 1:5000 (Miklin i dr., 2007) (slika 14) na ovom području u međusobnom su kontaktu naslage gornjeg i donjeg ponta (gornji miocen) izgrađene od pjeskovitih prahova. Naslage gornjeg miocena su na ovom području prekrivene glinama i prahovima deluvijalnog porijekla (pretpostavljeno do maksimalne dubine od oko 5 m). Iz ove bušotine prikupljeno je ukupno 10 uzoraka sitnozrnastih tala koji gornjomiocenske starosti (slika 15).



Slika 14 Položaj bušotine P11-B4a u ulici Dobrodolski Brijeg prikazan na isječku DIGK originalnog mjerila 1:5.000 (Miklin i dr., 2007)



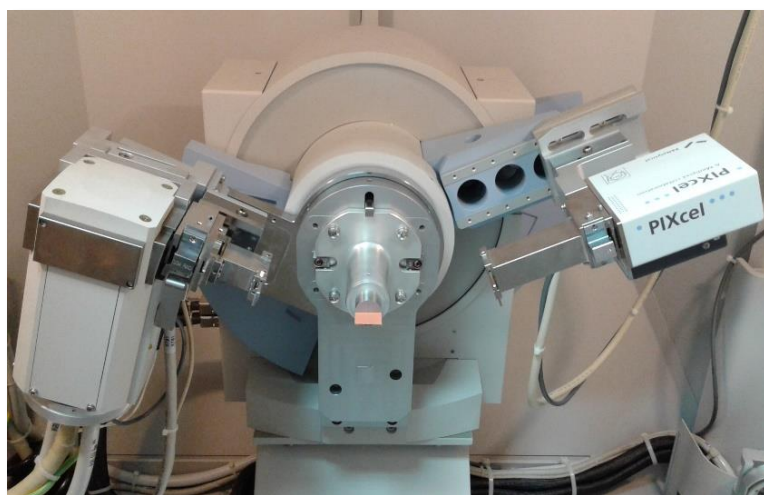
Slika 15 Jezgra bušotine P11– B4a (lokacija u ulici Dobrodolski Breg, dubine 35 m s oznakama mjesta uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja)

4.2. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Prikupljeni uzorci bili su podvrgnuti laboratorijskim metodama ispitivanja potrebnim za utvrđivanje mineralnog sastava i fizičkih svojstava uzoraka. Dio laboratorijskih ispitivanja izveden je u laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta, a dio u geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geotehnički studio d.o.o.

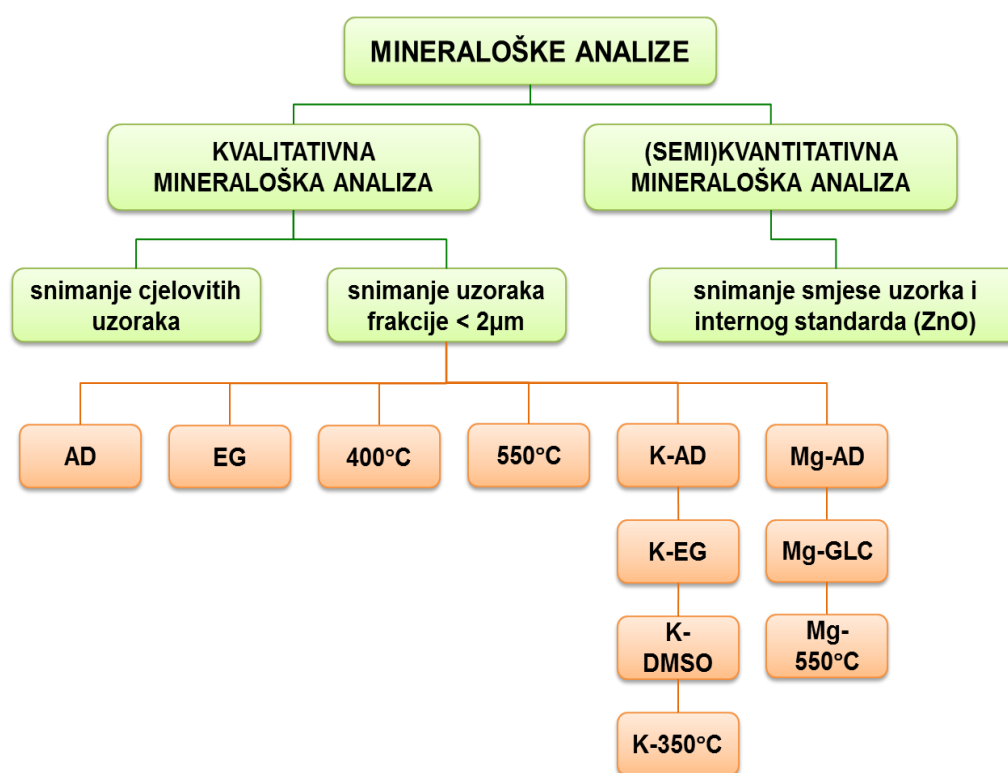
4.2.1. Određivanje mineralnog sastava tla

Na svim prikupljenim uzorcima izvršena je *kvalitativna* i *(semi)kvantitativna* mineraloška analiza primjenom metode rendgenske difrakcije na prahu pomoću rendgenskog difraktometra marke *PANalytical X'Pert Powder* u vlasništvu Hrvatskog geološkog instituta. Kao izvor zračenja u spomenutom uređaju se koristi bakrena cijev koja odašilje $\text{CuK}\alpha$ zračenje valne duljine $\lambda=1,54 \text{ \AA}$. Osim rendgenske cijevi, difraktometar sadrži vertikalni goniometar θ - θ geometrije, nosač za uzorke, optičke module za kontrolu ulaznog i difraktiranog zračenja te PIXcelov detektor (slika 16). Rendgenskim difraktometrom se upravlja preko programa *X'Pert Quantify* dok se difrakcijske slike analiziraju pomoću programskog paketa *X'Pert HighScore Plus* (2016) na koji je vezana baza podataka svih poznatih mineralnih vrsta (PDF-4/Minerals, 2018). Generiranje rendgenskih zraka događa se pri naponu od 45 kV i jakosti struje od 40 mA.



Slika 16 Rendgenski difraktometar u vlasništvu Hrvatskog geološkog instituta s vertikalnim $\theta - \theta$ goniometrom, keramičkom rendgenskom Cu-cijevi, PiXcel-ovim detektorom i odgovarajućim nosačima za uzorke (na slici je vidljiv nosač za orijentirane uzorke). Prilikom snimanja uzorak miruje, dok rendgenska cijev i detektor rotiraju oko uzorka.

Primjenom difraktometra utvrđen je detaljni mineralni sastav svih 58 analiziranih uzoraka. Posebna pažnja bila je usmjerena na identificiranje minerala glina te njihov relativni udio u sitnozrnastoj frakciji uzoraka. Analiza mineralnog sastava provedena je na uprašenim globalnim uzorcima (neorijentirani uzorci) i na uzorcima frakcije manje od 2 μm (orijentirani uzorci). Prije snimanja na rendgenskom difraktometru, uzorak je pripremljen na odgovarajući način pri čemu su za analizu frakcije manje od 2 μm korišteni postupci koji uključuju različite tretmane saturacije i žarenja (slika 17) opisanih u Hauff i dr. (1984), Moore & Reynolds (1997) te Harris & White (2008), a detaljno su opisani i u radovima domaćih autora Durn (1996), Mileusnić (2007) i Ilijanić (2014).



Slika 17 Shematizirani prikaz vrsta mineraloških analiza provedenih na uzorcima s nabrojanim postupcima provedenih prilikom snimanja uzoraka frakcije manje od 2 μm : AD- uzorak sušen na zraku, EG- uzorak solvatiran etilen glikolom, 400°C – uzorak žaren na 400°C, 550°C – uzorak žaren na 550°C, K-AD – uzorak saturiran K⁺ i sušen na zraku, K-EG – uzorak saturiran K⁺ i solvatiran etilen glikolom, K-DMSO – uzorak saturiran K⁺ i solvatiran dimetil-sulfoksidom, K-350°C – uzorak saturiran K⁺ i žaren na 350°C, Mg-AD – uzorak saturiran Mg²⁺ i sušen na zraku, Mg-GLC – uzorak saturiran Mg²⁺ i solvatiran glicerolom, Mg - 550°C – uzorak saturiran Mg²⁺ i žaren na 550°C.

4.2.1.1. Analiza mineralnog sastava cjelovitih uzoraka

Uzorak koji je prethodno bio sušen 24 h na 105°C je homogeniziran i usitnjen na frakciju praha u ahatnom tarioniku te je stavljen na nosač uzorka. Uzorci su snimani u području od 4 do 66° 2 θ . Veličina koraka je iznosila 0.02°2 θ u vremenu od 4s. Pri tome su

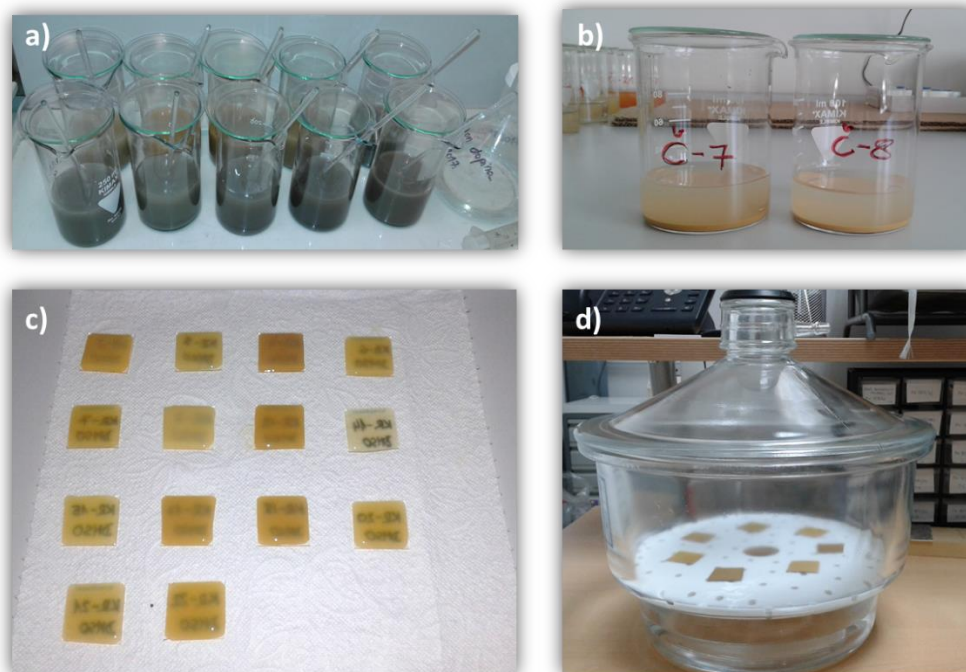
korišteni 0.04 rad Sollerovi slitovi, divergentna pukotina od $1/4^\circ$ te primarna i sekundarna pukotina za sprječavanje raspršenja od $1/2^\circ$. Ti isti uzorci su kasnije poslužili i za kvantitativnu analizu. Navedenom analizom utvrđene su glavne mineralne faze u uzorku (npr. kvarc, kalcit, feldspati, tinjci i dr.) i sporedne mineralne faze (npr. željezovi oksidi i oksihidroksidi). Da bi se pouzdano utvrdili prisutni minerali glina, neophodno je analizirati frakciju čestica manju od $2 \mu\text{m}$.

4.2.1.2. Analiza mineralnog sastava frakcije manje od $2 \mu\text{m}$

Zbog specifične kristalne strukture većina minerala glina ima pločastu morfologiju i vrlo izražene bazalne mrežne ravnine (001) orijentirane okomito na kristalografsku os *c*. Njihovi difrakcijski maksimumi su najjači na niskim 2θ kutovima. Minerali glina, prilikom slijeganja iz suspenzije, preferiraju orijentaciju paralelnu bazalnim mrežnim ravninama. To svojstvo se koristi kod pripremanja uzoraka za analizu minerala glina kako bi se naglasila difrakcija rendgenskih zraka s tih ravnina i time olakšala njihova identifikacija (Moore & Reynolds, 1997; Harris & White, 2008).

Prisutnost organske tvari, karbonatnih mineralnih faza i željezovih oksida, hidroksida i oksihidroksida (u literaturi se zajedničkim imenom nazivaju željezovi oksidi) može otežati pouzdano određivanje minerala glina pa ih je uputno prije analize frakcije čestica manje od $2 \mu\text{m}$ i izrade orijentiranih uzoraka selektivno otopiti. Primjerice, na uzorcima iz bušotine P11-B4a je bilo potrebno ukloniti kalcit koji, pri postupku izdvajanja glinovite frakcije iz uzorka, otežava disperziju glinovitih čestica u suspenziji (slika 18a). Naime, u prisustvu relativno većeg udjela kalcita mijenja se pH uzorka pomiješanog s vodom koji utječe na promjenu naboja na površini glinovitih čestica što dovodi do njihovog međusobnog privlačenja, koaguliranja i taloženja (Moor & Reynolds, 1997; Harris & White, 2008). Za otapanje kalcita korištena je otopina natrijevog acetata (NaOAc) i octene kiseline puferirane do stalne vrijednosti pH=5 dodavanjem klorovodične kiseline (36,5 %) (Jackson, 1956). Uzorci su nakon tog postupka preneseni u plastične kivete od 50 ml te su centrifugirani 3 min na 1000 rpm kako bi se izdvojila frakcija manja od $2 \mu\text{m}$. Vrijeme i brzina centrifugiranja određeni su pomoću programa *Centrifuge* (Krumm, 1994). Nakon centrifugiranja, glinovita frakcija zaostaje u suspenziji uzorka. Suspenzija je kapaljkom pažljivo odpipetirana u male čaše te je tako ostavljena jedan do dva dana kako bi se glinovita frakcija iz suspenzije slegla na dno čaše (slika 18b). Nakon toga, višak tekućine u čaši je dekantiran ili odpipetiran te je preostali talog uz pomoć kapaljke nanesen na stakalca i ostavljen da se osuši na zraku (slika 18c). Tako pripremljeni uzorci snimani su u određenim koracima koji su prema Hauff i dr.

(1984)uključivali: (a) sušenje na zraku, (b) saturaciju etilen glikolom (slika 18d), (c) žarenje na 400°C minimalno 30 minuta, i (d) žarenje na 550°C minimalno 30 minuta.



Slika 18 Prikaz nekih od osnovnih koraka u pripremi uzoraka za mineralošku analizu: a) otapanje kalcita u uzorcima, b) taloženje glinovite frakcije iz suspenzije, c) glina nakapana na stakalca, d) napanje orijentiranih uzoraka frakcije manje od 2 μm etilen glikolom.

Prirodni uzorci su dodatno saturirani K i Mg kationima, kako bi se međusobno mogli razlikovati minerali glina čiji se difrakcijski maksimumi međusobno preklapaju.. Uzorak u suspenziji koji je preostao nakon prethodnog centrifugiranja i pipetiranja razdijeljen je u dvije plastične kivete od 50 ml. U jednu kivetu dodano je 10 ml 4N otopine kalijevog klorida (KCl), dok je u drugu kivetu dodano 10 ml 2N otopine magnezijevog klorida. Tako pripremljeni uzorci ostavljeni su preko noći na tresilici. Prije nakapavanja na stakalca uzorci su nekoliko puta centrifugirani i ispirani kako bi se odstranio višak soli koja pospješuje koagulaciju čestica glina i otežava njihovu disperziju u suspenziji. Nakapani uzorci su ostavljeni preko noći da se osuše nakon čega su snimani ponovno u nekoliko koraka. Kalijem saturirani uzorci su snimani nakon sušenja na zraku, zatim nakon saturiranja etilen glikolom te nakon sat vremena žarenja na 350°C. Isto tako, kalijem saturirani uzorci su dodatno napanjeni dimetil sulfoksidom (DMSO). Ovaj postupak omogućava razlikovanje kaolinita koji stvara interkalacijski kompleks s DMSO (KIn_D) od kaolinita koji ne stvara interkalacijski kompleks s DMSO (KIn) (Garcia & Camazano, 1968; Durn, 1996). Kompleks s DMSO stvaraju također vermikulit i smektit što omogućuje lakše razlikovanje ovih mineralnih vrsta od klorita (Jackson, 2005). Za

postizanje saturacije uzorci su ostavljeni 24 h u eksikatoru s dimetil sulfoksidom na 50°C. Magnezijem saturirani uzorci su najprije snimani nakon sušenja na zraku. Zatim su ostavljeni 24 h u petrijevoj zdjelici na filter papiru namočenom u glicerol, nakon čega su ponovno snimani. Posljednji korak bio je snimanje uzorka uz prethodno žarenje na 550°C oko 60 minuta. Svi orijentirani uzorci su snimani u području od 4 - 30° 2θ.

4.2.1.3. (Semi)kvantitativna mineraloška analiza

(Semi)kvantitativna mineraloška analiza provedena je automatiziranim određivanjem masenih udjela minerala identificiranih u uzorku (uprašeni globalni uzorak) uz pomoć programskog paketa *RockJock* (Eberl, 2003). Ovom analizom dobiveni su relativni udjeli mineralnih vrsta u cjelokupnom uzorku koji su zajedno s ostalim mjerenim svojstvima statistički analizirani.

Uzorci su pripremani na način da je jednom gramu prosijanog uzorka (uzorci su prosijani kroz sito od 425 μm kako bi se odstranila frakcija šljunka i krupnog pijeska) dodano 10% (0.111 g) cinkovog oksida (ZnO) te 7 - 10 ml metanola. Dobivena smjesa usitnjena je u McCronovom mlinu 5 minuta kako bi se dobila frakcija manja od 20 μm. Nakon toga uzorak je stavljen u petrijeve zdjelice i ostavljen da se osuši (slika 19). Tako pripremljen uzorak sniman je u području od 5 – 65° 2θ. Veličina koraka iznosila je 0.02° 2θ u vremenu od 2 sekunde.



Slika 19 Sušenje uzoraka pomiješanih s ZnO i metanolom nakon usitnjavanja u McCronovom mlinu.

Izračunavanje masenih udjela minerala u uzorku temeljilo se na metodi usporedbe integriranih XRD intenziteta minerala s intenzitetima internog standarda koju je opisao Chung (1974). Točnost ovog programa je ispitana na umjetno pripremljenim smjesama i generalno daje podatke s pogreškom unutar 2 – 5% (Eberl, 2003). Ipak, točnost kvantifikacije može biti umanjena uslijed nekoliko ključnih faktora. Primjerice, točnost kvantifikacije se smanjuje s

povećanjem broja mineralnih faza u uzorku čiji se difrakcijski maksimumi međusobno preklapaju (npr. istovremena prisutnost minerala smektita i vermikulita čiji difrakcijski maksimumi se preklapaju na 14 Å ili illita i muskovita čiji difrakcijski maksimumi se preklapaju na 10 i 5 Å...). Isto tako, prisutnost veće količine amorfnih minerala (minerali koji nemaju pravilnu kristalnu strukturu i ne mogu se identificirati metodom rentgenske difrakcije) također smanjuje točnost kvantifikacije budući da je rezultat kvantifikacije izražen kao maseni udio minerala u uzorku. Nadalje, pogreška u kvantifikaciji vezana je i za moguće razlike u kristalnoj strukturi mineralnih standarda i mineralnih vrsta koje su sadržane u uzorku. Naposljetku, do pogreške u kvantifikaciji može doći i usljed neispravnosti instrumenta kao i nepreciznosti u pripremi uzorka koja može dovesti do krive interpretacije difrakcijskih slika.

4.2.1.4. Kriteriji za identifikaciju minerala glina

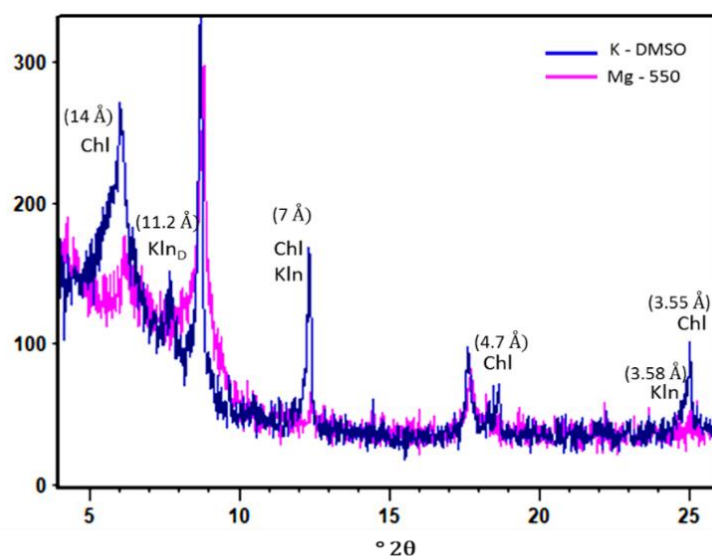
Prethodno opisani postupci pripremanja orijentiranih uzoraka zasnivaju se na činjenici da se bazalni međumrežni razmaci kod određenih minerala glina, kao rezultat njihove karakteristične kristalne strukture, mijenjaju ovisno o tome koji je kation ili polarna molekula prisutna u međumrežnom prostoru (Moore & Reynolds, 1997; Haris & White, 2008, Yin i dr., 2014). Rezultati snimanja uzoraka nakon tretmana saturacije različitim kationima (K, Mg) i polarnim molekulama (etilen glikol, DMSO, glicerol) su difraktogrami s vidljivim promjenama u položaju, intenzitetu i obliku bazalnih refleksa, što je glavni kriterij za međusobno raspoznavanje minerala glina (tablica 10).

Tablica 10 Kriteriji korišteni za identifikaciju minerala glina prema promjeni položaja 001 bazalnog refleksa (u Å)

MINERAL	OSNOVNI KORACI				SATURACIJE						
	AD	EG	400	550	K-AD	K-EG	K-DMSO	K-350	MG-AD	MG-GLC	MG-550
kaolinit neuređeni	7	7	7	nestaje	7	7	7	7	7	7	nestaje
kaolinit uređeni	7	7	7	nestaje	7	7	11,2	7	7	7	nestaje
illit	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
klorit	14	14	14	13,5↑	14	14	14	14	14	14	13,5↑
vermikulit	14	14	10-13	10-12	10	10	10	10	14	14,5	10
ekspandibilni 14Å mineral	14	15-16	10-13	10-11	10	10	10-14	10	14	16 - 18	10
smektit	10-15	16-17	10	10	12-13	17	14-15	10	14-15	18	10

AD – uzorak sušen na zraku, *EG* – uzorak saturiran etilen glikolom, *400 i 550* – uzorak žaren na 400°C i 550°C, *K-AD* – uzorak saturiran kalijem, *K-EG* – uzorak saturiran kalijem i tretiran etilen glikolom, *K-DMSO* – uzorak saturiran kalijem i tretiran dimetil sulfoksidom, *K-350* – uzorak saturiran kalijem i žaren na 350°C, *MG-AD* – uzorak saturiran magnezijem i sušen na zraku, *MG-GLC* – uzorak saturiran magnezijem i tretiran glicerolom, *MG-550* – uzorak saturiran magnezijem i žaren na 550°C, ↑ – porast intenziteta

Difrakcijski maksimumi kaolinita nalaze se na $d_{001}=7 \text{ \AA}$ i $d_{002}=3.58 \text{ \AA}$. Budući da je kaolinit poznat kao neubrivni mineral (razmak među mrežnim ravninama od kojih se zrake difraktiraju ostaje nepromjenjiv) njegovi karakteristični difrakcijski maksimumi ostaju nepromjenjivi tijekom saturacije etilen glikolom ili glicerolom te tijekom žarenja na temperaturama manjim od 500°C . Žarenjem na temperaturi većoj od 500°C , kristalna struktura kaolinita postaje amorfna i u pravilu difrakcijski maksimumi kaolinita nestaju. Ovo svojstvo kaolinita omogućuje njegovo razlikovanje od klorita čiji difrakcijski maksimum d_{002} se nalazi također na 7 \AA . Iako kaolinit ne pokazuje svojstvo bubrenja s etilen glikolom ili glicerolom, on može stvarati interkalacijski kompleks s DMSO. To svojstvo ovisi o stupnju njegove kristalne uređenosti i veličini samih kristala. Tako uređeni kaolinit stvara kompleks s DMSO pri čemu se njegov difrakcijski maksimum pomiče na 11.2 \AA (slika 20), dok difrakcijski maksimum neuređenog kaolinita ostaje na 7 \AA . Prisutnost neuređenog kaolinita koji ne stvara kompleks s DMSO dokaz je njegovom autigenom podrijetlu tj. da je nastao kao produkt trošenja (Durn, 1996; 1999).

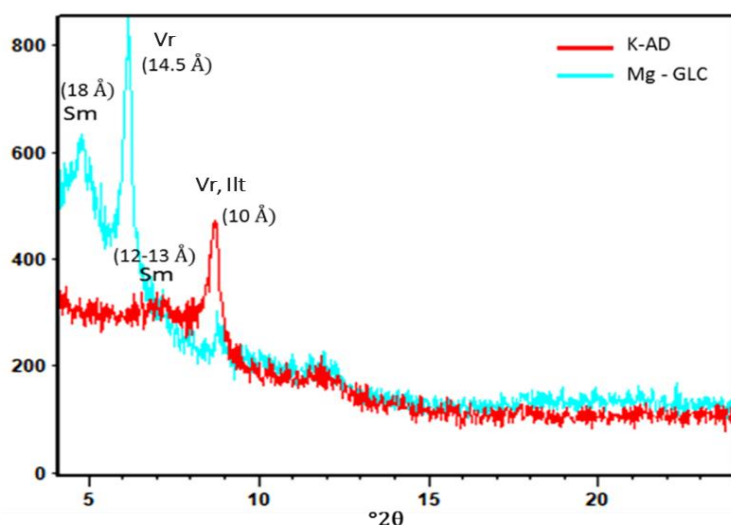


Slika 20 Usporedba difrakcijskih slika kalijem i magnezijem saturiranog uzorka frakcije $< 2 \mu\text{m}$ (uzorak DBD-10). Nakon tretmana s DMSO pik dobro kristaliziranog kaolinita seli na 11.2 \AA , a slabokristaliziranog kaolinita ostaje na 7 \AA . Nakon žarenja na 550°C pik kaolinita nestaje te ostaju pikovi klorita na 14 \AA , 7 \AA , 4.7 \AA i 3.55 \AA . *Chl*-klorit, *Kln*-slabokristalizirani kaolinit, *KlnD* – dobrokristalizirani kaolinit.

Od neubrivičkih minerala, u uzorcima tla mogu još biti prisutni illit (tinjac s manjkom međuslojnog kationa) i klorit. Difrakcijski maksimumi illita nalaze se na $d_{001}=10 \text{ \AA}$, $d_{002}=5 \text{ \AA}$ i $d_{003}=3.38 \text{ \AA}$ te ostaju nepromjenjivi tijekom svih koraka mjerenja. Difrakcijski maksimumi karakteristični za klorit nalaze se na $d_{001}=14 \text{ \AA}$, $d_{002}=7 \text{ \AA}$, $d_{003}=4.74 \text{ \AA}$ i $d_{004}=3.55 \text{ \AA}$. Difrakcijski maksimum klorita na 14 \AA preklapa se s difrakcijskim maksimumom smektita i vermikulita od kojih se razlikuje nakon žarenja na 550°C kada se njegov difrakcijski

maksimum pomiče na 13.5 Å. Ako je u uzorku prisutan klorit bogat Fe, pik na 14 Å, odnosno 13.5 Å može biti jako slab (Moore & Reynolds, 1997), a nakon žarenja na 400°C ili 550°C u pravilu nestaje, pa treba biti oprezan kod interpretacije. Difrakcijski maksimumi klorita na 7 Å i 3.55 Å se mogu uočiti nakon žarenja na 550°C kada nestaju difrakcijski maksimumi kaolinita (slika 20). Međutim i kod ovog načina utvrđivanja klorita može doći do zabune jer pikovi vrlo malog intenziteta mogu biti i ostaci kaolinita koji nije u potpunosti prešao u amorfnu tvar. Najsigurniji način identifikacije klorita je potražiti difrakcijski maksimum d_{003} na 4.74 Å (slika 18).

Od bubrivih minerala, u uzorcima tla mogu biti prisutni vermikulit i smektit. Bazalni refleksi vermikulita i smektita d_{001} se preklapaju i nalaze se na 14 – 15 Å. Žarenjem na 400°C i 550°C bazalni refleks vermikulita se seli na 10-13 Å te se i tu djelomično preklapa s refleksom smektita koji se nakon žarenja pomiče na 10 Å. Zbog toga se difrakcijski maksimumi vermikulita i smektita najbolje mogu razlikovati nakon saturacije K^+ i Mg^{2+} (slika 21).



Slika 21 Usporedba difrakcijskih slika kalijem (K) i glicerolom (GLC) saturiranog uzorka frakcije $< 2 \mu\text{m}$. Difrakcijska slika uzorka saturiranog kalijem pokazuje pik smektita na 12-13 Å, te pik vermikulita i illita na 10 Å. Nakon saturacije s glicerolom pik vermikulita seli na 14.5 Å, a pik smektita na 18 Å. Ill – illit, Sm – smektit, Vr – vermikulit.

Nakon saturacije s K^+ bazalni refleks vermikulita pomiče se na 10 Å jer dolazi do potpune kontrakcije međumrežnog razmaka, a bazalni refleks smektita pomiče se na 13 – 12 Å, tj. smektit ne kontrahira u potpunosti. Nakon napanjanja K^+ saturiranih uzoraka etilen glikolom, bazalni refleks vermikulita i dalje ostaje na 10 Å, a smektit expandira i njegov bazalni refleks d_{001} se pomiče na 17 Å. Nakon solvatacije Mg-saturiranih uzoraka glicerolom bazalni refleks vermikulita d_{001} u pravilu ostaje na 14.5 Å. U tlima i paleotlima može biti prisutan i tzv. „vermikulit tla“ (eng. „*soil vermiculite*“) (Mileusnić, 2007; Terhorst i dr., 2012;

Yin, i dr., 2014) čija difrakcijska slika nakon saturacije Mg^{2+} i etilen glikolom je vrlo slična difrakcijskoj slici smektita (d_{001} ide i na 18 Å) pa ga neki autori još nazivaju i 18 Å vermikulit (npr. Terhorst i dr., 2012). Vrlo slično se ponašaju i faze koje imaju karakteristike „između“ vermikulita i smektita te se one nazivaju „*low-charge vermiculite*“ (LCV) ili „*high-charge smectite*“ (HCS) (npr. Durn i dr., 1999; Durn i dr., 2015). Moore i Reynolds (1997) opisuju vermikulite koji nakon saturacije s glicerolom imaju bazni refleks između 14.5 i 17.7 Å, a nakon saturacijem s K^+ na 10 Å. Nazivaju ih ekspandibilnim mineralima glina čiji naboji se nalaze između naboja vermikulita i smektita ili mješanoslojnim mineralima glina te navode da su takve strukture nedovoljno istražene. U ovom istraživanju uz smektit i vermikulit u nekim uzorcima utvrđena je ekspandibilna mineralna faza čija difrakcijska slika nakon saturacije s K^+ je ista kao i kod vermikulita (bazalni refleks je na 10 Å), međutim nakon saturacije s Mg^{2+} i glicerolom bazalni refleks se pomiče na 17-18 Å. S obzirom na prethodno navedeno (Moore i Reynolds, 1997), ta mineralna faza nazvana je ekspandibilni 14 Å mineral, a na difraktogramima je označena kao Vr?

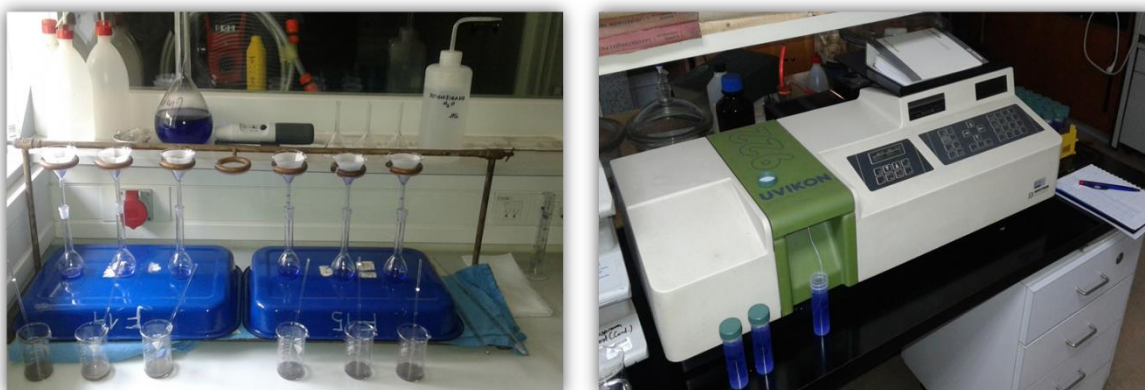
Osim minerala glina, u frakciji manjoj od 2 µm mogu biti prisutni i neki drugi minerali kao što su npr. kvarc ili getit. Kvarc ima karakterističan pik na 4.26 Å dok je najjači pik getita prisutan na 4.18 Å te nakon žarenja na 350°C prelazi u amorfni oblik i pik nestaje.

4.2.2. Određivanje kapaciteta kationske izmjene (CEC)

Kapacitet kationske izmjene dobiven je uz pomoć metode s Cu–trien kompleksom koju su razvili Meier & Kahr (1999), a kasnije modificirali Ammann i dr. (2005). Cijeli postupak može se podijeliti u nekoliko koraka: (a) priprema kompleksa, (b) priprema uzorka, (c) mjerenje apsorbance, i (d) izračunavanje CEC-a.

Za pripremu 0,01 M Cu–trien kompleksa odvagano je 1,596 g $CuSO_4$ (bakarni sulfat bezvodni) u tikvicu od 1000 ml te je na to doliveno 0,5 l deionizirane vode. Istovremeno je u čaši od 100 ml odvagano 1,508 g 97%-nog trietilentetramina ili skraćeno *trien*. Izvagani trien dodan je u tikvicu s $CuSO_4$ nakon čega je tikvica dopunjena deioniziranom vodom do označene crte. Nakon toga u tri male čaše je odvagano po 0,5 g (s točnošću od četiri decimale) jednog uzorka koji je preliven s 10 ml destilirane vode i dispergirani u ultrazvučnoj kupelji 5 minuta. Nakon dispergiranja, u čaše s uzorcima dodano je 10 ml pripremljenog Cu–trien kompleksa te su tako pripremljeni uzorci uz povremeno miješanje i potresanje ostavljeni 5 minuta da reagiraju s kompleksom. Pri tome se dio Cu^{2+} kationa iz kompleksa zamjenjuje s kationima koji se nalaze u međumrežnom prostoru minerala glina ili su vezani na njihovu površinu. Uz pomoć kvantitativnog filter papira „*plava vrpca*“ uzorci su filtrirani u tikvice od

50 ml (slika 22). Ostatak koji je zaostao na filteru ispran je deioniziranom vodom. Nakon ispiranja, sadržaj tikvice je nadopunjen deioniziranom vodom do 50 ml.

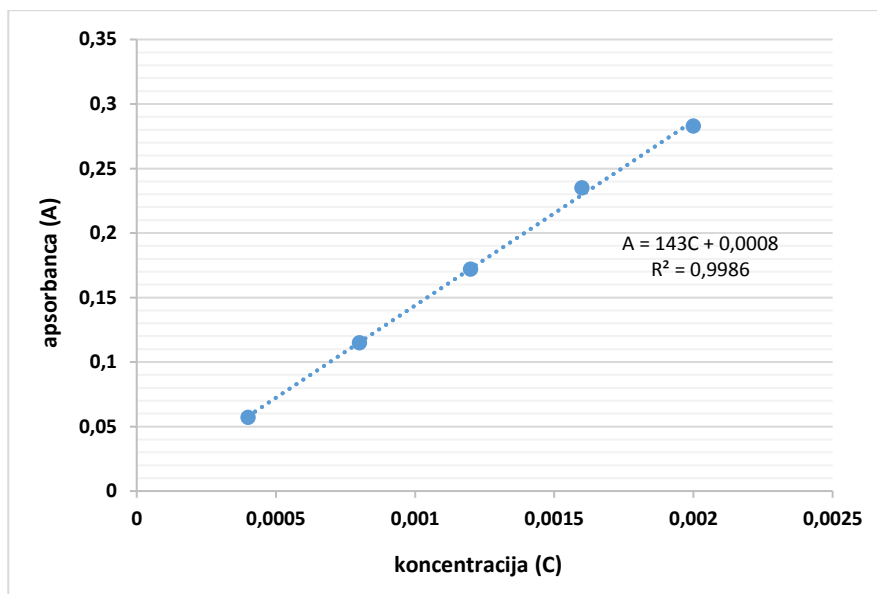


Slika 22 Filtriranje smjese uzorka i Cu-trien kompleksa kroz filter papir u tikvice od 50 ml (slika lijevo) i mjerenje apsorbance na spektrofotometru (slika desno).

Prije mjerenja apsorbance pripremljenih otopina izmjerena je apsorbancia standardnih otopina Cu-triena s različitim koncentracijama (2, 4, 6, 8 i 10 ml 0,01 M otopine Cu-trien kompleksa razrijeđeno je do 50 ml). Iz poznatih volumena i množine Cu-triena izračunata je množina, a zatim i koncentracija pripremljenih otopina. Na temelju dobivenih vrijednosti izrađen je graf ovisnosti apsorbance (A) o koncentraciji (c), odnosno *kalibracijska krivulja* s pripadajućom jednadžbom iz koje je izračunata koncentracija nezamijenjenog bakrova kationa (slika 23).

Tablica 11 Izračunate koncentracije i apsorbancia standardnih otopina Cu-trien kompleksa.

$V_{\text{Cu-trien}}$ (ml)	C (mol)	apsorbancia			
		a	b	c	(a+b+c)/3
2	0,0004	0,056	0,057	0,057	0,057
4	0,0008	0,115	0,114	0,115	0,115
6	0,0012	0,169	0,173	0,174	0,172
8	0,0016	0,234	0,235	0,265	0,245
10	0,002	0,283	0,283	0,283	0,283



Slika 23 Graf ovisnosti koncentracije o apsorbanci s dobivenom jednađbom na temelju koje je izračunata koncentracija nezamijenjenog bakrova kationa.

Nakon izrade kalibracijske krivulje slijedilo je mjerenje apsorbance na spektrofotometru, na valnoj duljini za bakar $\lambda = 577 \text{ nm}$ (Bergaya & Vayer, 1997). Na temelju tri paralelna mjerenja izračunata je srednja vrijednost apsorbance za svaki uzorak. Koncentracija nezamijenjenog bakra izračunata je uvrštavanjem dobivene apsorbance u jednađbu pravca (jednađba 1).

$$c [\text{mol/L}] = \frac{A - 0,0008}{143} \quad (1)$$

gdje je: $c [\text{mol/L}]$ – koncentracija nezamijenjenog Cu-triena

A - apsorbanca

Kapacitet kationske izmjene izračunat je iz množine n zamijenjenog bakra prema jednađbi 2.

$$\text{CEC} [\text{meq}/100\text{g}] = \frac{n [\text{mmol}] * z}{m [\text{g}]} * 100 \quad (2)$$

gdje su:

$n [\text{mmol}]$ – množina zamijenjenog Cu-triena

z – nabojni broj bakra [2]

$m [\text{g}]$ – masa osušenog uzorka

Budući da je množina početne količine Cu-trien kompleksa poznata, iz razlike početne i preostale množine izračunata je množina utrošenog Cu-trien kompleksa (jednadžba 3 i 4).

$$n_{ut} = n_{poč} - n_{neut} \quad (3)$$

$$n_{ut} = [(c * V)_{poč}] - [(c * V)_{neut}] \quad (4)$$

gdje je:

n_{ut} – množina zamijenjenog kompleksa [mmol]

$n_{poč}$ –množina pripremljenog kompleksa [mmol]

n_{nez} – množina nezamijenjenog kompleksa [mmol]

$c_{poč}$ – koncentracija dodanog kompleksa [mmol/L]

$V_{poč}$ – volumen dodanog kompleksa [L] (= 0,1 L)

c_{nez} – koncentracija nezamijenjenog kompleksa [mmol/L]

V_{nez} – volumen kompleksa nakon filtriranja [L] (= 0,5 L)

4.2.3. Određivanje fizičkih svojstava tla

Fizička svojstva tla uključivala su određivanje granulometrijskog sastava i Atterbergovih granica na 58 uzoraka. Ispitivanja su provedena u geomehaničkom laboratoriju tvrtke Geotehnički studio d.o.o. u Zagrebu. Oba postupka provedena su prema ASTM-ovoj normi (ASTM D 422-63, 2007, ASTM D 4318 - 10, 2010). Na temelju dobivenih podataka, svi uzorci su klasificirani prema USCS geomehaničkoj klasifikaciji (ASTM D 2487-06, 2006).

4.2.3.1. Granulometrijski sastav

Granulometrijski sastav ispitan je prema ASTM – ovoj standardiziranoj metodi (ASTM D 422-63, 2007). Budući da su u odabranim uzrocima sitnozrnastih tala bile sadržane frakcije pijeska i šljunka, granulometrijski sastav uzoraka određen je kombinacijom metoda sijanja i areometriranja. Uzorci su prvo prosijani kroz set standardiziranih sita kako bi se dobio udio i distribucija krupnozrnastih čestica (frakcija čestica >0,075 mm), a udio i distribucija sitnozrnastih čestica dobiveni su metodom areometriranja na frakciji čestica < 0,075 mm.

4.2.3.2. Atterbergove granice i indeks plastičnosti

Postupak određivanja granice tečenja i granice plastičnosti također je proveden prema ASTM-ovom standardu (ASTM D 4318 - 10, 2010). Granica tečenja određena je pomoću Casagrandeovog aparata koji se sastoji od pokretne mjedene zdjelice standardiziranog oblika u koji se ugrađuje vlažni uzorak. Uzorak je prethodno prosijan kroz sito veličine 0,425 mm kako bi se uklonile valutice ili odlomci stijena, a nakon toga je navlažen destiliranom vodom i homogeniziran je metalnom špatulom kako ne bi došlo do gubitka vlažnosti. Tako pripremljen uzorak utisnut je i razmazan u zdjelicu na aparatu, a u njemu je uz pomoću posebnog noža po sredini zarezan žlijeb čija širina pri dnu posude iznosi 2 mm. Nakon toga, posudica je uz pomoć ručke pokretana brzinom od 2 udarca u sekundi tako dugo dok se urezani žlijeb ne zatvori u duljini od 12 mm. Pri tome ukupan broj udaraca ne smije biti manji od 10 niti veći od 50. Na mjestu gdje je žlijeb zatvoren, špatulom je uzeto malo uzorka i preneseno je u posudicu poznate mase. Nakon vaganja, uzorak je stavljen na sušenje. Vlažnost je određena iz razlike u masi uzorka prije i nakon sušenja. Postupak je ponavljan više puta za isti uzorak uz postupno povećanje vlažnosti dodavanjem destilirane vode. Dobivene vlažnosti unesene su u dijagram *vlažnost (w) – broj udaraca (N)*. Kroz dobivene točke je povučen pravac te je očitana vlažnost uzorka pri 25 udaraca koja označava granicu tečenja (w_L).

Granica plastičnosti određena je standardnim pokusom u kojem se grumen uzorka valjao u lagano raspucane valjčice promjera 3 mm. U slučaju kada se pukotine pri navedenom promjeru nisu pojavile, valjčići su ponovno skupljeni u grumen i postupak valjanja je ponovljen. Ovaj postupak smanjivanja vlažnosti ponavljan je sve do pojave pukotina. Nakon toga valjčić je izvagan i stavljen na sušenje. Granica plastičnosti (w_P) izračunata je iz razlike u masi valjčića prije i nakon sušenja.

Iz vrijednosti granice plastičnosti i granice tečenja dobiven je indeks plastičnosti (IP), odnosno raspon vlažnosti unutar koje se uzorak ponaša plastično.

4.2.3.3. Specifična površina tla

Specifična površina tla dobivena je računski iz Kozeny – Carmanove jednadžbe (jednadžba 5 i 6) koja opisuje međusobni odnos hidrauličke vodljivosti (K), specifične površine (a) i efektivne poroznosti (n_e) za tla sastavljena od prahovitih i glinovitih čestica.

$$K = 0,21 \frac{n_e^3}{a_m^2(1-n_e)^2} \quad (5)$$

$$a_m = \sqrt{\frac{0,21n_e^3}{K(1-n_e)^2}} \quad (6)$$

Hidraulička vodljivost izračunata je na dva načina, odnosno korištenjem dva izraza s različitim ulaznim parametrima. U prvom načinu, za izračun hidrauličke vodljivosti korištena je Kozeny-Carmanova jednadžba (jednadžba 7) u kojoj se hidraulička vodljivost (K) izračunava preko geometrijskog srednjeg zrna (D_g) i efektivne poroznosti (n_e).

$$K = 0,0417 D_g^2 \frac{n_e^3}{(1-n_e)^2} \quad (7)$$

Veličina geometrijskog srednjeg zrna izračunata je prema jednadžbi 8 koja predstavlja potpuno osrednjenje veličine svih čestica u uzorku (Urumović, 2013):

$$D_{ln,g} = EXP[0,01 \sum P_i \ln d_{gi}] \quad (8)$$

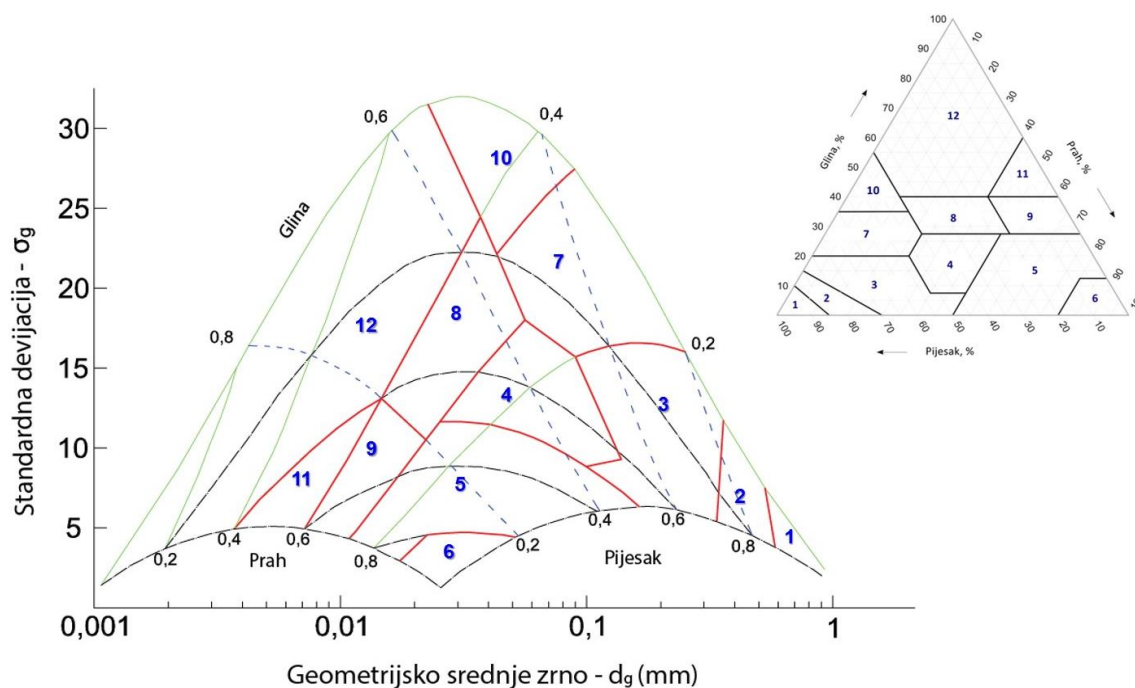
gdje je: P_i udio pojedinih prosijeva, d_g je geometrijsko srednje zrno pojedinog prosijeva, a $D_{ln,g}$ geometrijsko srednje zrno cjelokupnog uzorka.

U drugom načinu izračunavanja hidrauličke vodljivosti korišten je izraz prema Cambellu (1985) koji kao ulazni podatak koristi ukupni sadržaj praha i gline uzorka, gustoću tla te srednje geometrijsko zrno i standardnu devijaciju distribucije veličine zrna u uzorku (jednadžba 9).

$$K_{COR} = 1,6 * 10^{-5} \left(\frac{1,3}{\rho_e} \right)^{1,34} \left(\frac{1}{\sqrt{d_g}} + 0,2\sigma_g \right) \exp[-3,7m_p - 6,9m_g] \quad (9)$$

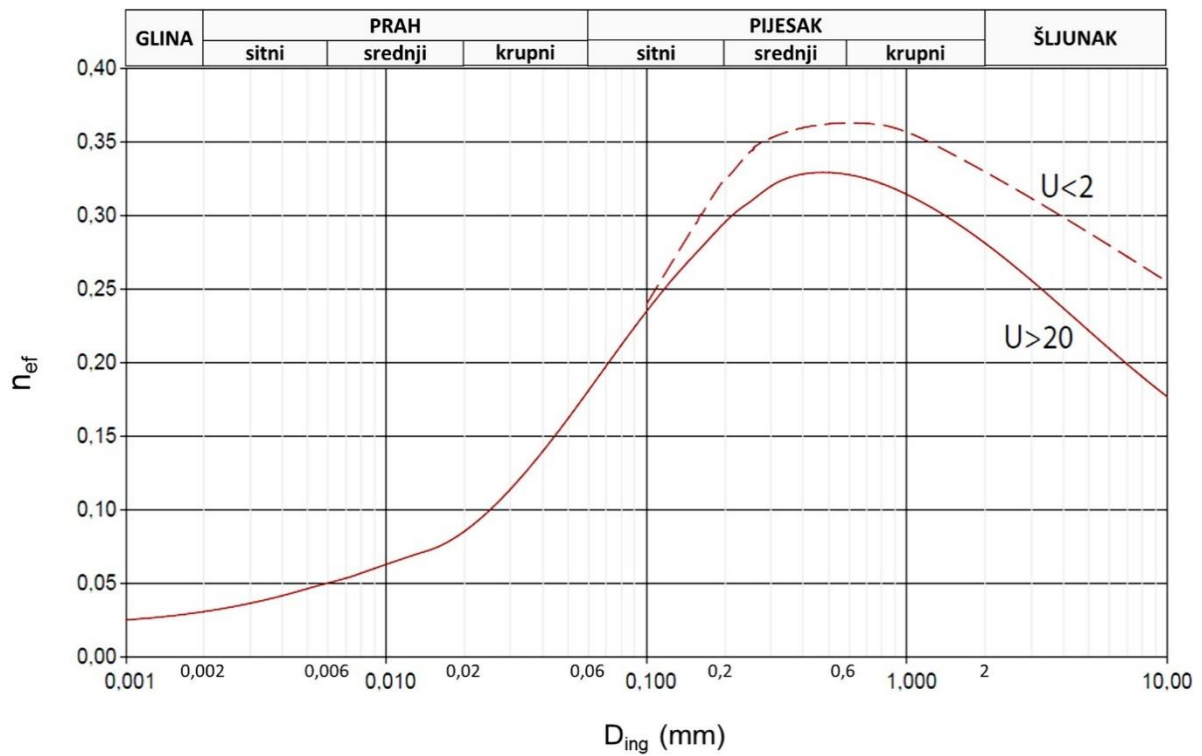
U ovom slučaju srednje geometrijsko zrno i standardna devijacija su dobiveni uz pomoć dijagrama koji navedene statističke parametre uzorka stavlja u odnos s granulometrijskim sastavom (Shirazi & Boersma, 1984) (slika 24). Drugim riječima, poznavanjem omjera gline, praha i pijeska u uzorku može se dobiti podatak o srednjem geometrijskom zrnu (d_g) i standardnoj devijaciji (σ_g). Vrijednosti hidrauličke vodljivosti dobivene na ovaj način trebale bi biti slične ili identične s vrijednostima hidrauličke vodljivosti dobivene preko srednjeg geometrijskog zrna i efektivne poroznosti (n_e). Stoga je

ovaj postupak korišten za verifikaciju vrijednosti hidrauličkih vodljivosti dobivenih iz izraza prema Kozeny-Carmanu.



Slika 24 Trokomponentni dijagram dobiven rotacijom USDA trokutnog dijagrama (gore desno) u ortogonalni sustav geometrijskog srednjeg promjera (d_g) i standardne devijacije veličine čestica (σ_g) (prema Shirazi & Boersma, 1984); (1) pijesak, (2) ilovasti pijesak, (3) pjeskovita ilovača, (4) ilovača, (5) prahovita ilovača, (6) prah, (7) pjeskovito – glinovita ilovača, (8) glinovita ilovača, (9) prahovito – glinovita ilovača, (10) pjeskovita glina, (11) prahovita glina, (12) glina.

Efektivna poroznost određivana je iz dijagrama prikazanog na slici 25 u kojem je stavljena u odnos s veličinom srednjeg zrna. Poznavajući efektivnu poroznost i geometrijsko srednje zrno, prema jednadžbi 7 izračunata je hidraulička vodljivost koja je zajedno s efektivnom poroznošću uvrštena u jednadžbu 6 za izračun specifične površine.



Slika 25 Dijagram efektivne poroznosti (n_{ef}) u odnosu na srednje geometrijsko zrno (D_{ing}). Oznaka U označava koeficijent jednoličnosti koji dijeli krupnozrnaste materijale prema graduiranosti. Crtkana linija predstavlja pretpostavljeni odnos efektivne poroznosti i geometrijskog srednjeg zrna i odnosi se na slabo graduirane pijeske i šljunke, dok puna crta označava odnos efektivne poroznosti i srednje veličine zrna verificiran na uzorcima. Modificirano prema Urumović (2013).

4.3. STATISTIČKA ANALIZA PODATAKA

S obzirom na veliki broj dobivenih podataka za opis i interpretaciju rezultata korištene su statističke metode. Prvi glavni cilj statističke analize bio je utvrditi postoji li razlika između pliokvartarnih i gornjomiocenskih tala na osnovi mineralnog sastava s naglaskom na minerale glina te na osnovi fizičkih svojstava, relativnog granulometrijskog sastava i granica plastičnosti. U tu svrhu korištena je jednostavna deskriptivna statistika i diskriminantna analiza. Drugi cilj statističke analize bio je utvrditi postoji li povezanost između udjela pojedinih mineralnih vrsta i fizičkih svojstava. U tu svrhu korištene su jednostavne metode linearne korelacije. Većina varijabli korištena u statističkim analizama pripada tzv. *kompozicijskim podacima* (CoDa) koji se izražavaju u postocima te u tom obliku nisu pogodni za neke analize, kao što je primjerice diskriminantna analiza, zbog čega ih je bilo potrebno dodatno obraditi, što je detaljnije opisano u poglavlju 4.3.1. Za statističku obradu podataka i analizu korišten je programski paket STATISTICA – 2007.

4.3.1. Statistička analiza kompozicijskih podataka

Podaci kojima se prikazuje koncentracija nekog kemijskog elementa ili, primjerice, sadržaj nekog minerala u promatranom uzorku tla, izražavaju se u realativnim udjelima te je zbroj koncentracija konstantan, odnosno uvijek je 100%. To znači da je koncentracija svakog elementa dio jedne cjeline. Povećanjem vrijednosti jedne takve varijable nužno se smanjuje vrijednost barem jedne od ostalih varijabli iz skupa, što znači da one ne mogu nezavisno varirati, već promjena jedne izaziva promjenu druge varijable ili više njih. Nadalje, vrijednost takvih varijabli nikada ne može biti negativna. Takvi podaci, kao i bilo koji drugi podaci koji čine jednu cjelinu i predstavljaju jedan zatvoren sustav (tzv. *Simplex*), nazivaju se kompozicijskim podacima (eng. *compositional data – CoDa*).

Klasične statističke metode, temelje se na Euklidskoj geometriji i namijenjene su analizi podataka čije se vrijednosti kreću od $-\infty$ do $+\infty$ (variraju u otvorenom, tzv. *Euklidskom prostoru*) te nisu pogodne za podatke čije su vrijednosti uvijek pozitivne i čiji je zbroj uvijek konstantan. Drugim riječima, za kompozicijske podatke ne vrijede matematičke jednakosti koje vrijede u Euklidskom prostoru.

Problem kompozicijskih podataka dolazi najviše do izražaja upravo u metodama koje se temelje na kovarijantnoj ili korelacijskoj analizi (kao što je i diskriminantna analiza) zbog tzv. lažne korelacije (eng. *spurious correlation*), što je opisao Pearson još 1896. godine, kada

je ustanovio da se međusobnom korelacijom dviju istih varijabli u skupu mogu dobiti različiti iznosi koeficijenta korelacije (Pearson, 1896). Rješavanju tog problema pristupilo se osamdesetih godina prošlog stoljeća kada Aitchison (1982, 1986) predstavlja log–omjer transformacije (*additive log ratio – alr* i *centred log ratio – clr*) kojima se vrijednosti varijabli prebacuju u Euklidski prostor, a novijeg datuma su i tzv. *ilr* (*isometric log ratio*) transformacije (Egozcue i dr., 2003).

Na temelju navedenog, za statističku obradu podataka diskriminantnom analizom, bilo je potrebno prije svega prilagoditi kompozicijske podatke. Pri tome su korištene transformacije u *clr* podatke. Vrijednosti *clr* transformiranih varijabli dobivene su logaritmiranjem n komponenata i n -tog korijena njihove geometrijske sredine. Opći oblik transformacije u *clr* vrijednosti je sljedeći:

$$clr(x) = [\log \frac{x_1}{g(x)}, \log \frac{x_2}{g(x)}, \log \frac{x_3}{g(x)}, \dots, \log \frac{x_D}{g(x)}] \quad [10]$$

gdje su: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_D$ izvorne varijable skupa kompozicijskih podataka x izražene u %, a $g(x)$ predstavlja njihovu geometrijsku sredinu. To bi značilo da je za sustav od, primjerice, tri varijable (a, b, c) *clr* transformacija predstavljena sljedećom jednadžbom:

$$clr(x) = clr[a, b, c] = [\log \frac{a}{\sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}}, \log \frac{b}{\sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}}, \log \frac{c}{\sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}}] \quad [11]$$

Primjena *clr* transformiranih podataka smatra se bitnom za obradu CoDa u multivarijatnim statističkim metodama poput diskriminantne analize budući da zadržava izvorne udaljenosti među promatranim varijablama, što dopušta jednostavno i izravno tumačenje njihovih odnosa kao i daljnju obradu i izradu grafičkih prikaza (Egozcue & Pawlowsky-Glahn, 2005; Tolosana-Delgado, 2012). Problem singularnosti koji je inherentan kovarijantnoj matrici *clr* transformiranih podataka (determinanta matrice jednaka je nuli) može se premostiti na taj način da se diskriminantna analiza provede na reduciranoj matrici *clr* podataka, to jest onoj koja ne počiva na punom rangu kovarijantne matrice ($N \times N$, gdje je N broj varijabli) (Daunis & Estadella et al., 2011). Budući da *clr* transformirani podaci predstavljaju neograničene realne vektore koji variraju u rasponu od $-\infty$ do $+\infty$ u realnom (Euklidskom) prostoru, Mahalanobisove udaljenosti ostaju nepromijenjene bez obzira na to koju komponentu (varijablu) odstranimo iz analize ($N-1$) (Barceló-Vidal i dr., 1996). One *clr* transformirane varijable koje ne smatramo važnim mogu se amalgimirati (barem jedna) i

ukloniti iz daljnje obrade (Hasan i dr., 2020). U ovom radu to je učinjeno u skupu kompozicijskih podataka koji predstavlja granulometrijski sastav (izbačen je udio šljunka) i u skupu kompozicijskih podataka koji predstavljaju mineralni sastav (uklonjen je sadržaj klorita). Naime, klorit je bio mineral s najmanjim brojem detekcija u sveukupnom broju uzoraka, odnosno pojavljuje se samo u dvije litostratigrafske jedinice koje pripadaju miocenu (Hum Zabočki – 6 uzoraka i Andraševac – 10 uzoraka) i njegovi udjeli su prilično ujednačeni što znači da je njegov diskriminantni potencijal jasan iz izravnog uvida u same podatke. U odnosu na njega, drugi minerali, primjerice smektit, pojavljuje se u više uzoraka i u više litostratigrafskih jedinica te njegov diskriminacijski potencijal nije potpuno razumljiv bez primjene statističkih analiza (diskriminativna analiza). S obzirom na činjenicu da je u zatvorenom sustavu kompozicijskih podataka kovarijantna i korelacijska matrica njihovih clr-transformiranih vrijednosti singularna, odnosno njihova determinanta je 0 (zbroj redova matrice), potrebno je izbaciti jednu varijablu da bi se mogla provesti multivarijantna analiza koja takvu matricu koristi. Prirodan izbor je, sukladno gore navedenom, bio klorit (najmanja incidencija), a ne neki drugi mineral. Iz istog razloga je iz granulometrijskog sastava eliminiran šljunak.

4.3.2. Diskriminativna analiza

Diskriminativna analiza je multivarijantna statistička analiza koja se vrlo često koristi u geološkim istraživanjima u kojima se obrađuje veliki broj podataka. Postupkom diskriminacije može se utvrditi statistička značajnost razlike između *centroida* (vektor aritmetičkih sredina dviju ili više varijabli) dvije ili više grupa te doprinos pojedinih varijabli razlikovanju među grupama (Pedišić & Dizdar, 2010).

Metoda diskriminacije temelji se na izračunavanju niza linearnih kombinacija promatranih varijabli koje se izračunavaju uz uvjet da se centroidi grupa na njima što je moguće više razlikuju, te da su međusobno linearno potpuno nezavisne. Statistička značajnost razlika između centroida grupa testira se pomoću *Wilksove lambde* (λ_w) – koeficijenta koji se kreće u intervalu od 0 do 1 s time da manja vrijednost koeficijenta ukazuje na veću vjerojatnost da je razlika između centroida grupa statistički značajna. Cijeli postupak diskriminacije počiva na analizi varijance između grupa na način da izračunata varijanca između grupa bude što veća u odnosu na varijancu unutar svake pojedine grupe (Davis, 1986). Dobiveni linearni odnosi izvornih varijabli predstavljaju nove funkcije duž kojih su grupe maksimalno razdvojene. Funkcija, koja se još zove i kanonski vektor, ima sljedeći oblik:

$$D = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad [12]$$

gdje su:

β_1, β_2, \dots – diskriminantni (kanonski) koeficijenti

X_1, X_2, \dots – diskriminantne varijable

D – diskriminantni bod

Diskriminantnom funkcijom početni skup varijabli mjerenih na nekom uzorku transformira se u jedinstveni diskriminantni bod koji predstavlja položaj uzorka duž pravca definiranog funkcijom. U slučaju kada se želi utvrditi razlika između samo dvije ($N = 2$) unaprijed definirane grupe dovoljna je jedna diskriminantna funkcija koja će objasniti sve razlike među grupama koje postoje. Kada se radi o više od dvije grupe, jednom diskriminantnom analizom se ne mogu objasniti sve razlike koje između grupa postoje i tada postoji $N-1$ mogućih diskriminantnih funkcija koje oblikuju višedimenzionalni diskriminantni prostor. Kako je broj diskriminantnih funkcija za jedan broj manji od broja grupa ili broja varijabli, u slučaju većeg broja grupa ili varijabli postoji i velik broj diskriminacijskih funkcija. Budući da sve diskriminantne funkcije ne objašnjavaju jednaku varijabilnost, za odvajanje grupa u pravilu se koriste dvije do tri diskriminantne funkcije, a rezultati se prikazuju u dvije ili tri dimenzije. Najčešće se rezultati prikazuju u 2-D dijagramima s ortogonalnim osima koje predstavljaju prvu i drugu ili prvu i treću diskriminantnu funkciju.

Mjera diskriminacijske moći odgovarajuće diskriminacijske funkcije izražava se *koeficijentom kanoničke diskriminacije* (R_k) koji se kreće u intervalu od 0 do 1. Što je koeficijent kanoničke diskriminacije veći, to pripadajuća diskriminacijska funkcija bolje razlikuje grupe. Statistička značajnost diskriminantnih funkcija testira se redom od prve do posljednje. Utvrdi li se da neka diskriminantna funkcija nije statistički značajna, tada niti jedna sljedeća diskriminantna funkcija ne može biti statistički značajna (Pedišić & Dizdar, 2010). Testiranje statističke značajnosti svake diskriminantne funkcije vrši se putem χ^2 - distribucije s brojem stupnjeva slobode df (Davis, 1986; Pedišić & Dizdar, 2010).

Kriteriji korišteni za odvajanje uzoraka u grupe u ovom radu su bili:

- pripadnost litostratigrafskoj jedinici (*4 grupe: Bistra, Pluska, Hum Zabočki i Andraševac*),
- vrsta tla prema geomehaničkoj klasifikaciji (*4 grupe: CH - visokoplastične gline, CL - niskoplastične gline, MH – elastični prah i ML – niskoplastični prah*) i

- vrste tla određene starosti (6 grupa: *PlQ_CH* – pliokvartarne visokoplastične gline, *PlQ_CL* – pliokvartarne niskoplastične gline, *PlQ_ML* – pliokvartarni niskoplastični prah, *M_CH* – gornjomiocenske visokoplastične gline, *M_MH* – gornjomiocenski elastični prah i *M_ML* – gornjomiocenski niskoplastični prah).

Varijable na temelju kojih je izvršena diskriminacija su mineralni sastav, specifična površina (SSA), kapacitet kationske izmjene (CEC), granica plastičnosti (WP), granica tečenja (WL), indeks plastičnosti (IP), aktivnost glina (IP/C), udio glinovite frakcije (C), udio praha (M) i udio pijeska (S). Kao što je već ranije rečeno, udio šljunka (G) u granulometrijskom sastavu i sadržaj klorita (Ch) u mineralnom sastavu izostavljeni su nakon clr transformacije izvornih podataka zbog problema singularnosti koji opterećuje kovarijantne matrice clr podataka u multivarijatnoj analizi.

4.3.3. Korelacijska analiza

U svrhu utvrđivanja odnosa između glinovite komponente, odnosno minerala glina i fizičkih svojstava koristila se korelacijska analiza. Važno je znati da korelacijska analiza kvantificira smjer i snagu (jačinu) linearnog odnosa između spomenutih varijabli pri čemu se koeficijent korelacije uvijek nalazi u rasponu između $-1,0$ i $+1,0$. Što je koeficijent bliži nuli, to je veza slabija, a što je bliži jedinici to je veza jača (tablica 12). Kod određivanja međusobne zavisnosti većeg broja varijabli derivira se korelacijska matrica. Takva matrica sastoji se od niza korelacijskih koeficijenata koji su rezultat interkorelacija između promatranih varijabli. Pregledom takve matrice može se lako uočiti koje varijable su međusobno povezane i o kakvoj korelaciji se radi.

Tablica 12 Jačina korelacije prema apsolutnoj vrijednosti koeficijenta korelacije (Pedišić & Dizdar, 2010)

APSOLUTNA VRIJEDNOST KOEFICIJENTA KORELACIJE	STUPANJ POVEZANOSTI MEĐU VARIJABLAMA
$r = 0$	potpuna odsutnost korelacije
$0 < r \leq 0.25$	nezatna korelacija
$0.25 < r \leq 0.55$	relativno slaba korelacija
$0.55 < r \leq 0.75$	srednje jaka korelacija
$0.75 < r < 1.00$	vrlo jaka korelacija
$ r =1$	potpuna korelacija

5. REZULTATI

5.1. MINERALNI SASTAV SITNOZRNASTIH TALA PLIOKVARTARNE I GORNJOMIOCENSKE STAROSTI

U nastavku teksta prikazan je mineralni sastav uzoraka dobiven na temelju rendgenske difrakcijske analize cjelokupnih uzoraka i frakcije manje od 2 μm . Prvo su na orijentiranim uzorcima frakcije manje od 2 μm kvalitativno određeni minerali glina i ostali minerali koji mogu biti prisutni u glinovitoj frakciji (tablice 13, 14, 15 i 16). Nakon toga su na globalnim praškastim uzorcima određeni kvalitativno i ostali minerali kao što su primjerice kvarc, feldspati, kalcit, dolomit i drugi koji su uglavnom zastupljeni u krupnijim frakcijama (tablice 17, 18, 19 i 20). Rezultati ovih dviju kvalitativnih analiza poslužili su kao ulazni podatak za kvantitativnu analizu kojom su dobiveni maseni udjeli svih identificiranih vrsta minerala na razini cjelokupnog uzorka (tablice 21, 22, 23 i 24). Nazivi minerala u tablicama poredani su prema relativnoj zastupljenosti minerala u uzorku. U tablicama u kojima su prikazani rezultati kvantitativne analize cjelokupnog uzorka, udjeli minerala koji su zastupljeni u uzorcima u više varijeteta, objedinjeni su pod jednim nazivom. Na primjer, u većem broju uzoraka, na temelju rendgenske difrakcijske analize frakcije manje od 2 μm , identificirana su dva varijeteta kaolinita (slabouređeni kaolinit - Kln i dobrouređeni kaolinit - Kln_D), no metodom kvantifikacije nije bilo moguće odrediti udjel svakog pojedinog obilka kaolinita zasebno, pa rezultat u tablici označava ukupni udjel kaolinita kao vrste (Kln), ali ne i udjel njegovih varijeteta. Udio vermikulita i ekspanzibilnog 14 Å minerala (Vr?) (vidjeti poglavlje 4.2.1.4.) objedinjen je pod nazivom vermikulit (Vr), dok je udjel muskovita i illita (oboje pripadaju

grupi tinjaca) objedinjen pod nazivom illit/muskovit (Ill/Ms). Korištene kratice naziva minerala izvedene su iz engleskog naziva minerala prema Whitney & Evans (2010).

5.1.1 Mineralni sastav glinovite frakcije (< 2 µm)

U tablicama 13, 14, 15 i 16 prikazani su rezultati analize frakcije manje od 2 µm za četiri bušotine. Za svaki uzorak križićem je označena vrsta minerala koja je identificirana u glinovitoj frakciji. Mogu se razlikovati dvije grupe minerala, filosilikati odnosno minerali glina i ostali minerali koji su prisutni u glinovitoj frakciji, ali ne pripadaju grupi filosilikata.

Frakcija manja od 2 µm, u uzorcima inženjerskih tala pliokvartarne starosti iz litostratigrafske jedinice Bistra, sastavljena je najvećim dijelom od tinjaca, kaolinita i vermikulita (tablica 13). Analiza uzoraka nakon tretmana s DMSO pokazala je da se u uzorcima mogu razlikovati dva tipa kaolinita, slabokristalizirani ili neuređeni kaolinit (Kln) koji ne reagira s DMSO te dobrokristalizirani kaolinit koji stvara kompleks s DMSO (Kln_D). Neuređeni kaolinit karakterističan je za sve uzorke jedinice Bistra, dok je uređeni kaolinit utvrđen u manjem broju uzoraka iz bušotine na lokaciji Krematorij (P7-B2) i u većini uzoraka iz bušotine na lokaciji Sjeverna ulica (P9-B4). Uzorci koji sadrže obje vrste kaolinita pokazuju nakon tretmana s DMSO jasne difrakcijske maksimume na 7 Å i 11.3 Å, a uzorci koji sadrže samo neuređeni kaolinit ne pokazuju maksimum na 11.3 Å (slike 26 i 27).

Tablica 13 Mineralni sastav frakcije manje od 2 µm u uzorcima iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec)

UZORAK	DUBINA (m)	LITOSTR. JEDINICA	MINERALI GLINA							OSTALI MINERALI			
			Ill/Ms	Kln	Kln _D	Vr	Vr?	Ch	Sm	Qtz	Gt	Am	Ca
Č-3	1,30-1,60	Bistra		+		+					+		
Č-5	2,60-3,00			+		+					+	+	
Č-6	5,70-6,00		+	+		+					+		
Č-7	7,70-8,00		+	+		+	+				+		
Č-9	10,30-10,60		+	+		+	+				+	+	
Č-13	14,40-14,60		+	+		+	+						
Č-14	15,00-15,30		+	+		+				+	+		
Č-18	17,50-17,75	Pluska	+	+		+							
Č-22	20,00-20,30		+	+				+			+		
Č-23	21,10-21,50	Hum Zabočki	+	+				+		+			
Č-24	21,70-22,00		+	+	+			+	+		+		
Č-27	23,50-23,80		+	+					+		+		
Č-34	26,70-27,00		+	+	+			+	+	+			+
Č-39	31,50-31,70		+	+	+			+	+	+			+
Č-40	34,75-35,00		+	+	+			+	+	+			+

Am-amfiboli, Ca-kalcit, Ch – klorit, Gt – getit, Ill/Ms – tinjci (illit i muskovit), Kln – slabouređeni kaolinit, Kln_D – dobrouređeni kaolinit, Qtz-kvarc, Sm – smektit, Vr-vermikulit, Vr? - 14 Å ekspan. mineral glina

Tablica 14 Mineralni sastav frakcije manje od 2 µm u uzorcima iz bušotine P7-B2 (Krematorij)

UZORAK	DUBINA (m)	LITOSTR. JEDINICA	MINERALI GLINA							OSTALI MINERALI			
			Il/Ms	Kln	Kln _D	Vr	Vr?	Ch	Sm	Qtz	Gt	Am	
KR-2	0,85-1,00	Bistra		+		+	+				+		
KR-3	1,60-1,90				+	+	+				+	+	
KR-4	2,70-2,90				+		+					+	
KR-6	7,65-7,90				+		+					+	
KR-7	10,30-10,50			+	+		+					+	
KR-8	11,55-11,85				+		+					+	
KR-12	16,50-16,80			+	+		+			+		+	
KR-14	19,65-19,90				+		+					+	
KR-15	20,70-20,90				+		+	+				+	
KR-17	24,15-24,50				+	+	+			+		+	
KR-18	25,10-25,50				+		+			+		+	
KR-20	27,70-28,00			+	+	+	+			+		+	
KR-21	28,70-29,00			+	+		+			+		+	
KR-22	31,30-31,50			+	+	+	+			+		+	

Am-amfiboli, Ch – klorit, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (illit i muskovit), Kln – slabouređeni kaolinit, Kln_D – dobrouređeni kaolinit, Qtz-kvarc, Sm – smektit, Vr-vermikulit, Vr? –14 Å ekspan. mineral glina

Tablica 15 Mineralni sastav frakcije manje od 2 µm u uzorcima iz bušotine P9-B4 (Sjeverna ulica)

UZORAK	DUBINA (m)	LITOSTR. JEDINICA	MINERALI GLINA							OSTALI MINERALI				
			Il/Ms	Kln	Kln _D	Vr	Vr?	Ch	Sm	Qtz	Gt	Am		
SU-1	1,50-1,90	Bistra	+	+	+	+					+	+		
SU-2	3,00-3,45			+	+		+					+	+	
SU-3	5,50-5,80			+	+	+	+					+	+	
SU-4	7,00-7,45			+	+	+	+					+	+	
SU-5	8,50-8,80			+	+		+				+	+	+	
SU-6	10,00-10,45			+	+	+	+				+	+	+	
SU-7	11,50-11,45			+	+		+					+	+	
SU-8	12,50-12,70			+	+	+	+	+				+	+	
SU-9	14,00-14,45			+	+	+	+						+	
SU-10	15,50-15,95			+	+	+	+						+	
SU-13	20,50-20,95			+	+	+	+						+	
SU-14	22,10-22,55			+	+	+	+				+		+	
SU-15	22,80-23,00			+	+	+	+				+		+	
SU-17	26,60-27,00			+	+	+	+				+		+	
SU-18	27,00-27,45			+	+	+	+				+		+	
SU-20	30,00-30,45			+	+	+	+	+				+	+	
SU-21	31,50-31,80			+	+	+	+				+		+	
SU-22	31,80-32,00				+		+	+				+	+	
SU-24	33,30-33,50		Pluska	+	+	+	+						+	
SU-25	35,00-35,50			+	+	+						+	+	

Am-amfiboli, Ch – klorit, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (illit i muskovit), Kln – slabouređeni kaolinit, Kln_D – dobrouređeni kaolinit, Qtz-kvarc, Sm – smektit, Vr-vermikulit, Vr? – nepoznati 14 Å ekspan. mineral glina

Osim kaolinita, difrakcijski maksimum na 7 Å ima i klorit, no do njihova preklapanja dolazi samo u dva uzorka u kojima difrakcijski maksimum klorita na 14 Å zaostaje nakon žarenja na 400°C, a nakon žarenja na 550°C se pomiče na 13.5 Å. Budući da su ovi pikovi bili vrlo mali

i nejasni, dokaz o prisutnosti klorita je pik na 14.03 Å koji je zaostao nakon tretmana s glicerolom u magnezijem saturiranim uzorcima.

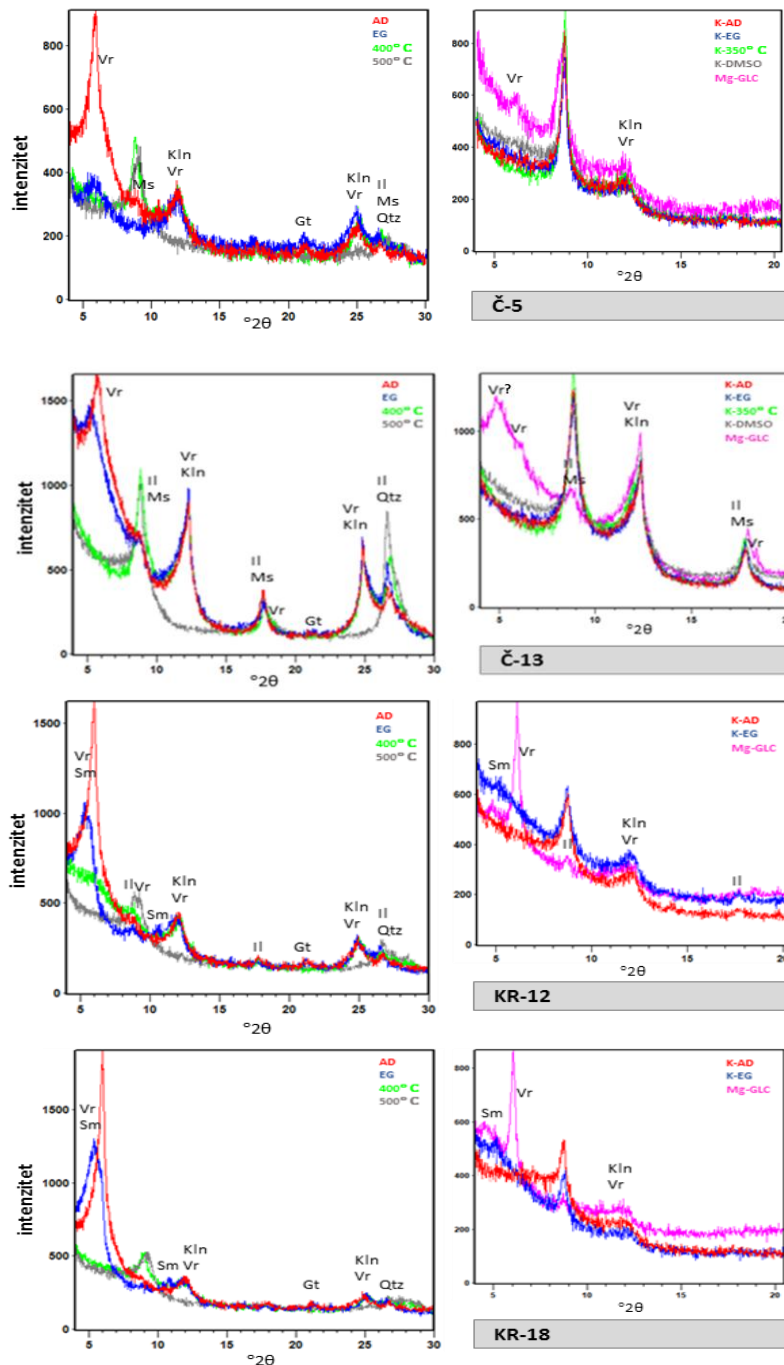
Tablica 16 Mineralni sastav frakcije manje od 2 µm u uzorcima iz bušotine P11-B4a (Dobrodol Breg)

UZORAK	DUBINA (m)	LITOSTR. JEDINICA	MINERALI GLINA							OSTALI MINERALI			
			Il/Ms	Kln	Kln _D	Vr	Vr?	Ch	Sm	Qtz	Gt	Cal	
DBD-1	3,70-4,00	Andraševec	+	+	+			+	+	+		+	
DBD-3	7,70-8,00		+	+	+				+		+		+
DBD-6	12,00-12,30		+	+	+				+	+			
DBD-7	14,20-14,50		+	+	+				+	+	+		
DBD-8	16,30-16,60		+	+	+				+	+	+		
DBD-9	20,70-21,00		+	+	+				+	+	+		+
DBD-10	23,00-23,45		+	+	+				+	+	+		+
DBD-11	26,00-26,45		+	+	+				+	+	+		+
DBD-12	29,00-29,30		+	+	+				+	+	+		+
DBD-15	34,40-34,70		+	+	+				+	+	+		+

Ca-kalcit, Ch – klorit, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (illit i muskovit), Kln – slabouredeni kaolinit, Kln_D – dobrouređeni kaolinit, Qtz-kvarc, Sm – smektit, Vr-vermikulit, Vr? – nepoznati 14 Å ekspanđ. mineral glina

Solvatacijom kalijem i magnezijem saturiranih uzoraka s etilen glikolom i glicerolom utvrđena je prisutnost vermikulita. Nakon tretmana s etilen glikolom, difrakcijski maksimum vermikulita ostaje na 10 Å te se njegov intenzitet dodatno pojačava nakon žarenja na 350°C. Nakon tretmana s glicerolom difrakcijski maksimum vermikulita se pomiče s 10 Å na 14.3 Å, a kod nekih uzoraka i na 17 - 18 Å što ukazuje na prisutnost još jedne vrste ekspanđibilnog 14 Å minerala. Na temelju provedenih tretmana nije bilo moguće točno odrediti o kojem mineralu se radi, ali zbog sličnosti s vermikulitom koji tako bubri nakon tretmana s etilen glikolom, na slikama i u navedenim tablicama se vodi kao Vr? (slika 26). Difrakcijski maksimum na 18 Å nakon saturacije glicerolom karakterističan je i za smektit, no njegova odsutnost u uzorku je potvrđena izostankom pika na 17 Å nakon tretmana s etilen glikolom K⁺ saturiranih uzoraka. Prisutnost smektita identificirana je samo u nekoliko uzoraka iz bušotine P7-B2 i P9-B4. Navedene karakteristične promjene u položajima difrakcijskih maksimuma nakon određenih tretmana mogu se vidjeti na slici 26 i 27.

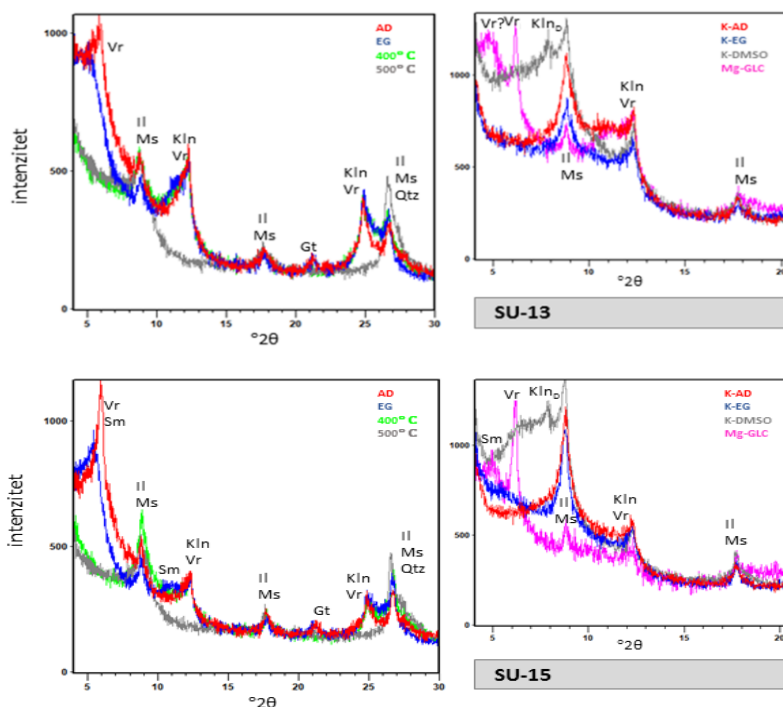
Iako su analizom cjelovitih uzoraka tinjci utvrđeni u gotovo svim uzorcima pliokvartarne starosti, oni nisu nužno prisutni i u glinovitoj frakciji uzoraka. Tako je illit prisutan u glinovitoj frakciji uzoraka s lokacije Črešnjevec i Sjeverna ulica, dok gotovo u potpunosti izostaje iz glinovite frakcije uzoraka s lokacije Krematorij (tablica 14).



Slika 26 Difrakcijske slike frakcije manje od $2\mu\text{m}$ odabranih uzoraka tla pliokvartarne starosti iz bušotina P7/8 – B1 i P7-B2; AD-uzorak sušen na zraku, EG – uzorak tretiran etilen glikolom, $350^\circ\text{C}/400^\circ\text{C}/550^\circ\text{C}$ – uzorak žaren na 350, 400 ili 550°C , DMSO – uzorak tretiran dimetil sulfoksidom, GLC – uzorak tretiran glicerolom, Gt – getit, Il – illit, Kln – neuređeni kaolinit (ne reagira s DMSO), Ms – muskovit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr? – nepoznati 14Å mineral glina, Vr – vermikulit

Od minerala koji ne pripadaju grupi filosilikata kao najučestalija mineralna vrsta javlja se getit, željezoviti oksid koji pripada skupini limonitnih minerala. Njegova prisutnost utvrđena je u svim uzorcima pliokvartarne starosti. Difrakcijski maksimum getita javlja se na 4.18 Å i karakterističan je za frakciju manju od $2\text{ }\mu\text{m}$ svih uzoraka (slika 26 i 27). Nakon tretmana žarenjem on nestaje. Osim getita, u frakciji manjoj od $2\text{ }\mu\text{m}$ utvrđena je prisutnost kvarca s karakterističnim difrakcijskim maksimumom na 4.25 Å i amfibola s difrakcijskim

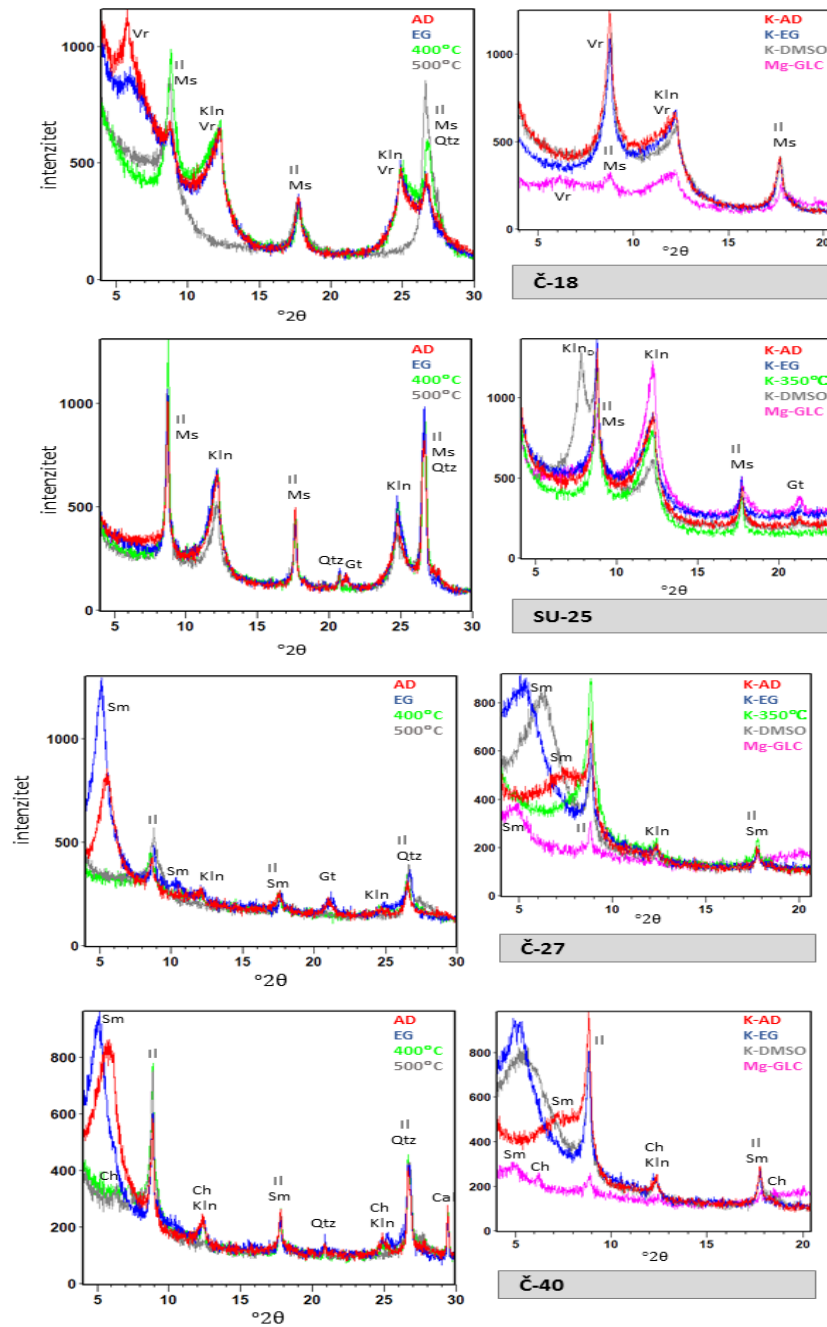
maksimumom na 8.4 Å. Difrakcijski maksimumi ovih minerala vidljivi su nakon svih tretmana.



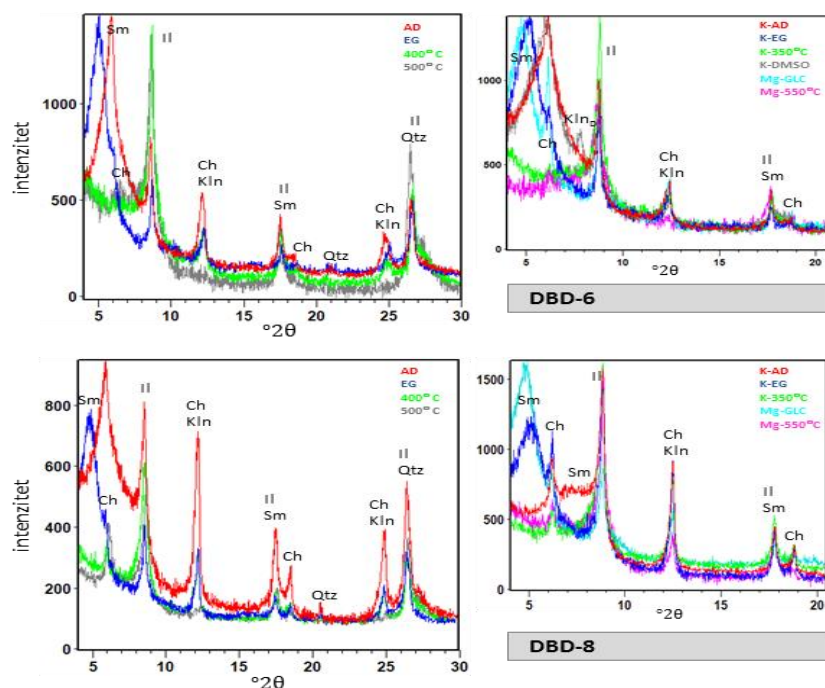
Slika 27 Difrakcijske slike frakcije manje od 2 μ m odabranih uzoraka tla pliokvartarne stratigrafske pripadnosti iz bušotine P9-B4; AD-uzorak sušen na zraku, EG – uzorak tretiran etilen glikolom, 350°C/400°C/550°C – uzorak žaren na 350, 400 ili 550°C, DMSO – uzorak tretiran dimetil sulfoksidom, GLC – uzorak tretiran glicerolom, Gt – getit, Il – illit, Kln – neuređeni kaolinit (ne reagira s DMSO), Kln_D – uređeni kaolinit (reagira s DMSO), Ms – muskovit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr? – nepoznati 14Å mineral glina, Vr – vermikulit

U glinovitoj frakciji uzoraka iz jedinice Pluska od minerala glina prisutni su tinjci, kaolinit i vermikulit (slika 34). U uzorku SU-25 izostaje difrakcijski maksimum vermikulita što znači da nije prisutan u frakciji manjoj od 2 μ m. Osim minerala glina, u nekim uzorcima utvrđena je prisutnost getita i kvarca.

Sastav glinovite frakcije uzoraka iz litostratigrafskih jedinica Hum Zabočki i Andraševac vrlo je sličan. Osim vrlo jasnih difrakcijskih maksimuma tinjaca na 10 Å i 5 Å te uređenog i neuređenog kaolinita na 7 Å, odnosno 11.3 Å nakon tretmana s DMSO, u uzorcima se javlja i difrakcijski maksimum klorita na 14.05 Å koji se, nakon žarenja na 400°C i 550°C, pomiče na 13.6 Å (slike 28 i 29). Prisutnost klorita u glinovitoj frakciji nije bilo moguće utvrditi u uzorcima Č-23, Č-27 i DBD-3. Uz klorit, u glinovitoj frakciji uzoraka iz jedinice Andraševac i Hum Zabočki prisutan je i smektit. Osim bubrenja s etilen glikolom i pomicanja pika s 15 Å na 17.5 Å, vrlo jasni difrakcijski maksimumi smektita pojavili su se nakon saturacije s K na 10-12 Å te nakon tretmana s glicerolom na 18 Å. Uz navedene minerale glina, u većini uzoraka je utvrđena prisutnost kvarca i kalcita, dok je getit prisutan samo u nekoliko uzoraka.



Slika 28 Difrakcijske slike frakcije manje od 2 μ m odabranih uzoraka tla iz jedinice Pluska (Č-18, SU-25) i jedinice Hum Zabočki (Č-27 i Č-40). AD-uzorak sušen na zraku, EG – uzorak tretiran etilen glikolom, 350°C/400°C/550°C – uzorak žaren na 350, 400 ili 550°C, DMSO – uzorak tretiran dimetil sulfoksidom, GLC – uzorak tretiran glicerolom, Gt – getit, Il – illit, Kln – neuređeni kaolinit (ne reagira s DMSO), KlnD – uređeni kaolinit (reagira s DMSO), Ms – muskovit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit.



Slika 29 Difrakcijske slike frakcije manje od $2\mu\text{m}$ odabranih uzoraka tla iz jedinice Andraševac; AD-uzorak sušen na zraku, EG – uzorak tretiran etilen glikolom, $350^\circ\text{C}/400^\circ\text{C}/550^\circ\text{C}$ – uzorak žaren na 350, 400 ili 550°C , DMSO – uzorak tretiran dimetil sulfoksidom, GLC – uzorak tretiran glicerolom, Gt – getit, II – illit, Kln – neuređeni kaolinit (ne reagira s DMSO), Kln_D – uređeni kaolinit (reagira s DMSO), Ms – muskovit, Qtz – kvarc, Sm – smektit

5.1.2 Mineralni sastav cjelokupnih uzoraka

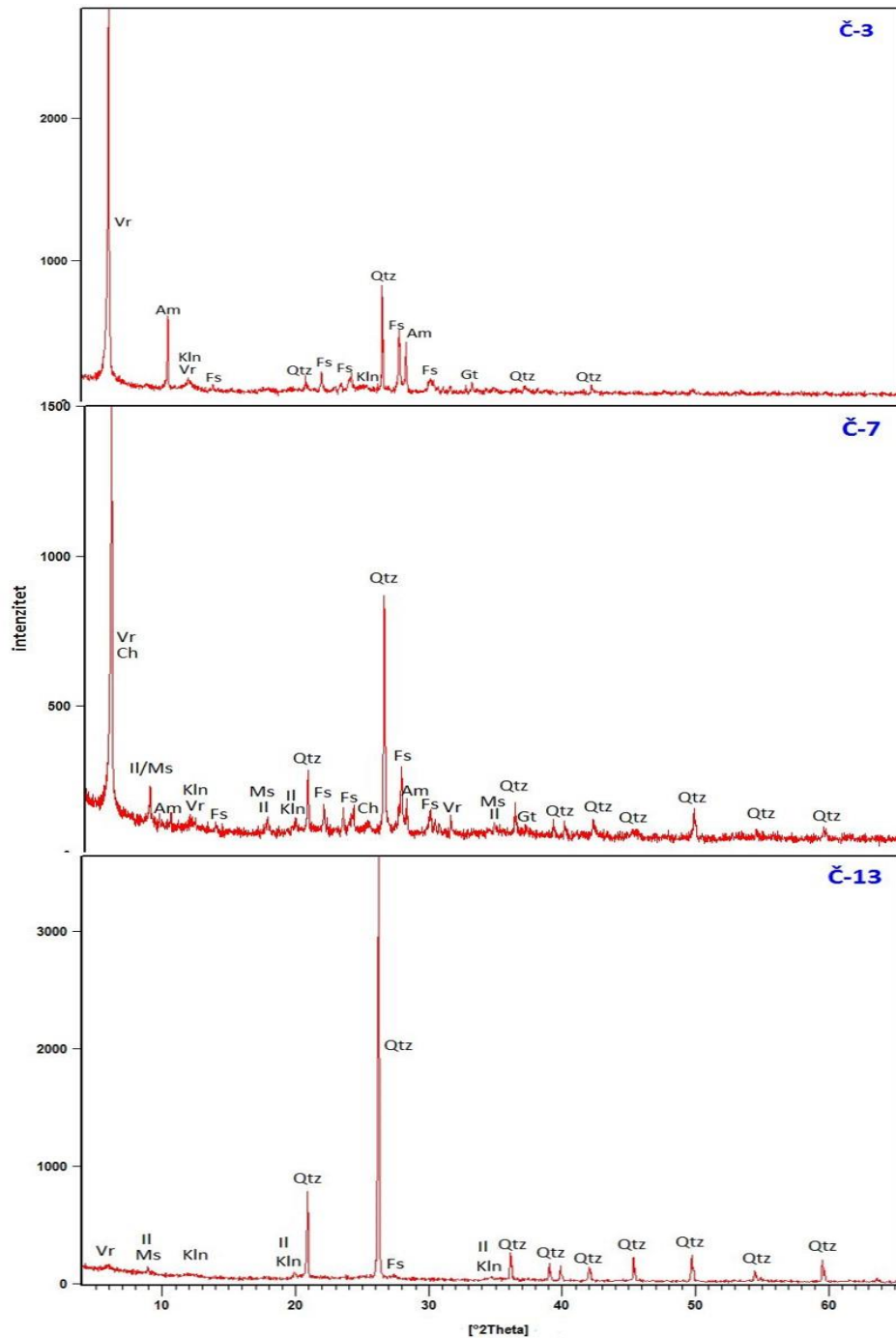
U tablicama 17, 18, 19 i 20 prikazani su rezultati analize cjelokupnih uzoraka sitnozrnastih tala po bušotinama, odnosno prema lokacijama uzorkovanja na način da su istaknute glavne mineralne vrste koje su najviše zastupljene u nekom uzorku i sporedne mineralne vrste koje su manje zastupljene. Mineralne vrste su poredane prema njihovoj relativnoj zastupljenosti dobivenoj na temelju kvantitativne analize prikazane u tablicama 21, 22, 23 i 24.

U uzorcima koji pripadaju litostratigrafskoj jedinici Bistra iz bušotine P7/8-B1 s lokacije Črešnjevce glavne mineralne vrste su vermikulit i feldspati do dubine od oko 13 metara, a kao sporedne mineralne vrste se javljaju kvarc, getit, tinjci, kaolinit i amfiboli. U uzorcima iste litostratigrafske jedinice, kvarc je najdominantnija mineralna vrsta samo u uzorcima Č-13 i Č-14 na dubini većoj od 13 m. U istim uzorcima, vermikulit se javlja u vrlo malom udjelu u odnosu na kvarc. Osim kvarca, kao sporedne mineralne vrste prisutne u svakom uzorku javljaju se još getit i kaolinit, dok su tinjci i amfiboli prisutni sporadično. Prisutnost klorita je utvrđena samo u jednom uzorku, dok ga u ostalim uzorcima nije bilo moguće identificirati.

Tablica 17 Mineralni sastav uzoraka iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec) s istaknutim glavnim i sporednim mineralnim vrstama, *Am* – amfiboli, *Cal* – kalcit, *Ch* – klorit, *Dol* – dolomit, *Fs* – feldspati, *Gt* – getit, *Ilt/Ms* – tinjci (illit/muskovit), *Kln* – kaolinit, *Qtz* – kvarc, *Vr* - vermikulit

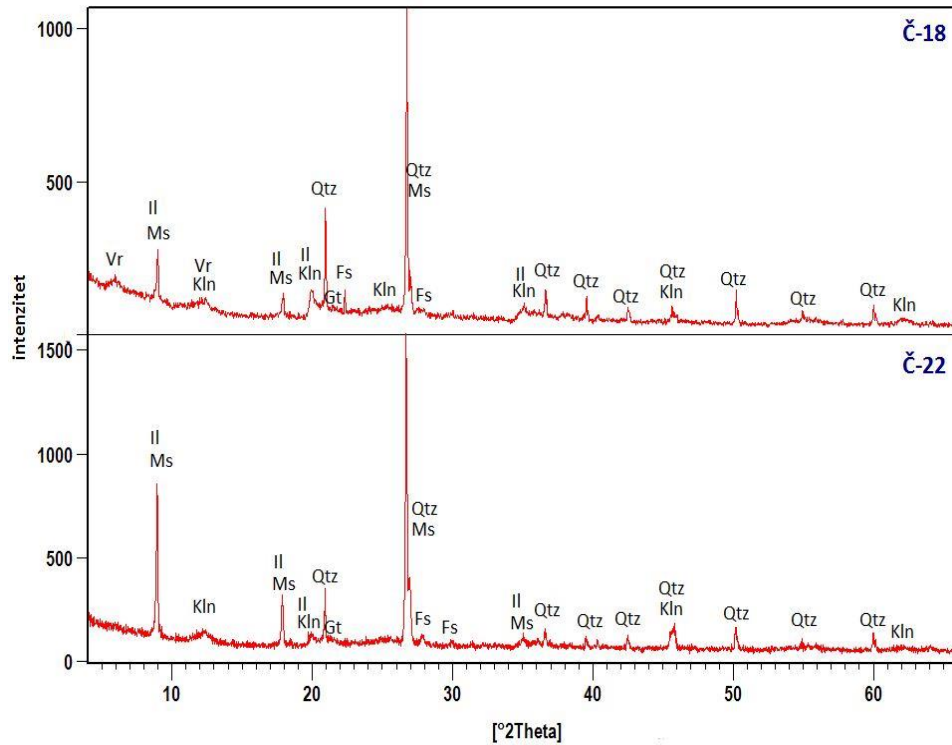
bušotina	litostrat. jedinica	dubina uzorkovanja (m)	oznaka uzorka	glavne mineralne vrste	sporedne mineralne vrste
P7/8-B1	Bistra	1,30-1,60	Č-3	Vr, Fs	Qtz, Am, Kln, Gt
		2,60-3,00	Č-5	Vr, Fs	Qtz, Am, Kln, Ilt/Ms, Gt
		5,70-6,00	Č-6	Vr, Fs	Qtz, Fs, Am, Ilt(Ms), Gt
		7,70-8,00	Č-7	Vr, Vr?, Qtz	Fs, Ilt/Ms, Kln, Am, Ch, Gt
		10,30-10,60	Č-9	Vr, Vr?, Fs	Qtz, Ilt/Ms, Kln, Am, Gt
		14,40-14,60	Č-13	Qtz	Ilt/Ms, Vr, Vr?, Kln, Fs
		15,00-15,30	Č-14	Qtz	Vr, Kln, Ilt/Ms, Fs, Gt
	Pluska?	17,50-17,75	Č-18	Qtz, Ilt/Ms	Kln, Fs, Vr, Gt
		20,00-20,30	Č-22	Qtz, Ilt/Ms	Kln, Fs, Gt
	Hum Zabočki	21,10-21,50	Č-23	Qtz, Ilt/Ms	Fs, Kln, Ch, Sm, Gt
		21,70-22,00	Č-24	Qtz, Ilt/Ms	Fs, Sm, Ch, Kln, Gt
		23,50-23,80	Č-27	Ilt/Ms, Qtz	Fs, Ch, Sm, Kln, Dol, Gt
		26,70-27,00	Č-34	Ilt/Ms, Qtz	Dol, Fs, Ch, Kln, Cal, Sm, Gt
		31,50-31,70	Č-39	Ilt/Ms, Qtz	Dol, Ch, Fs, Kln, Sm, Cal
34,75-35,00	Č-40	Ilt/Ms, Qtz	Dol, Fs, Ch, Cal, Sm, Kln		

Slika 30 prikazuje difraktograme karakteristične za uzorke iz litostratigrafske jedinice Bistra na lokaciji Črešnjevec prema kojima se može vidjeti razlika u dominantnoj prisutnosti vermikulita, odnosno kvarca. Prema difraktogramima uzoraka Č-3 i Č-7 proizlazi da je u njima dominantno prisutan vermikulit na što upućuje vrlo jak difrakcijski maksimum na 14.5 Å. Ovi difraktogrami karakteristični su za sve uzorke iz jezgre P7/8 – B1 do dubine od 11 m. Za razliku od navedenih, uzorak Č-13 ima vrlo izražene difrakcijske maksimume karakteristične za kvarc, dok difrakcijski maksimum na 14 Å izostaje, odnosno vrlo je malog intenziteta. Gotovo identični oblik difrakcijske slike, a to znači i mineralni sastav ima i uzorak Č-14.



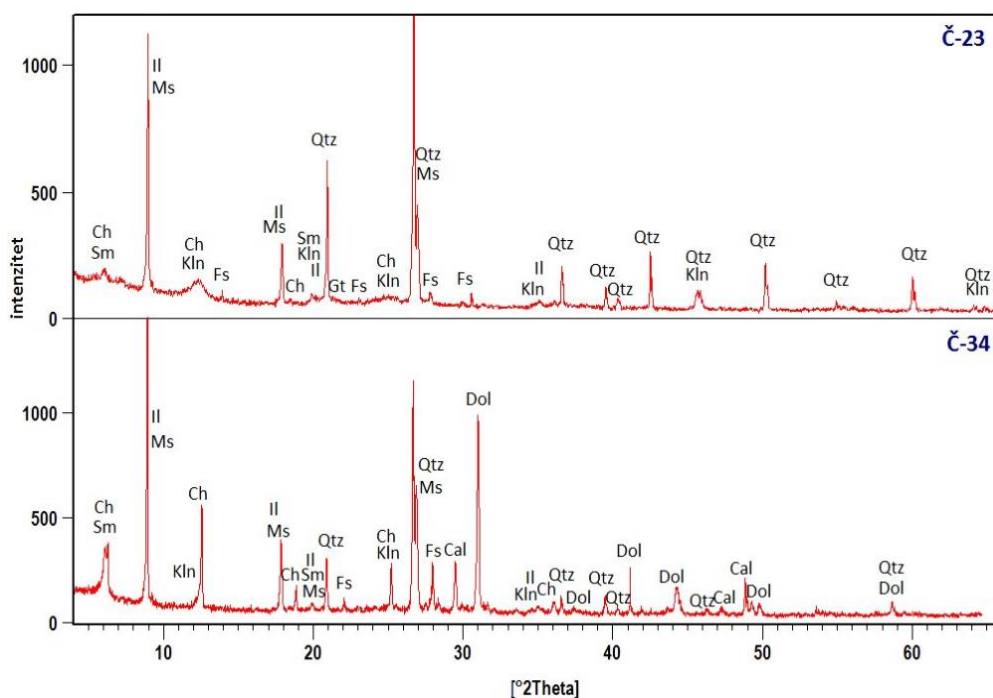
Slika 30 Difraktogrami uzoraka Č-3, Č-7 i Č-13 iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; *Am* – amfiboli, *Ch* – klorit, *Fs* – feldspati, *Gt* – getit, *Il/Ms* – tinjci (ilit/muskovit), *Kln* – kaolinit, *Qtz* – kvarc, *Vr* - vermikulit

U uzorcima Č-18 i Č-22, koji litostratigrafski pripadaju jedinici Pluska, najdominantnije mineralne vrste su kvarc i tinjci. Kao sporedne mineralne vrste u uzorcima su prisutni kaolinit, feldspati, vermikulit i getit. Od navedenih minerala, vermikulit je utvrđen samo u uzorku Č-18 (slika 31).



Slika 31 Difraktogrami uzoraka Č-18 i Č-22 iz jezgre P7/8-B1 (lokacija Črešnjevec) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; *Fs* – feldspati, *Gt* – getit, *Il/Ms* – tinjci (ilit/muskovit), *Kln* – kaolinit, *Qtz* – kvarc, *Vr* – vermikulit

Uzorci prikupljeni u intervalu bušotine od 21 do 35 metara pripadaju litostratigrafskoj jedinici Hum Zabočki. Glavne mineralne vrste u uzorcima iz ove jedinice su i dalje kvarc i tinjci što se vidi iz priloženih difraktograma uzoraka Č-23 i Č-34 prikazanih na slici 32. Njihov kvantitativni odnos se mijenja s dubinom intervala u korist tinjaca (tablica 21). Među sporednim mineralnim vrstama u uzorcima ove jedinice su, uz već učestalo prisutne feldspate, kaolinit i getit, prisutni još klorit i smektit. Njihova zastupljenost se također povećava s dubinom uzorkovanja. U uzorcima iz dubljih dijelova intervala se javlja i karbonatna komponenta u vidu dolomita i kalcita pri čemu dolomit dominira nad kalcitom.

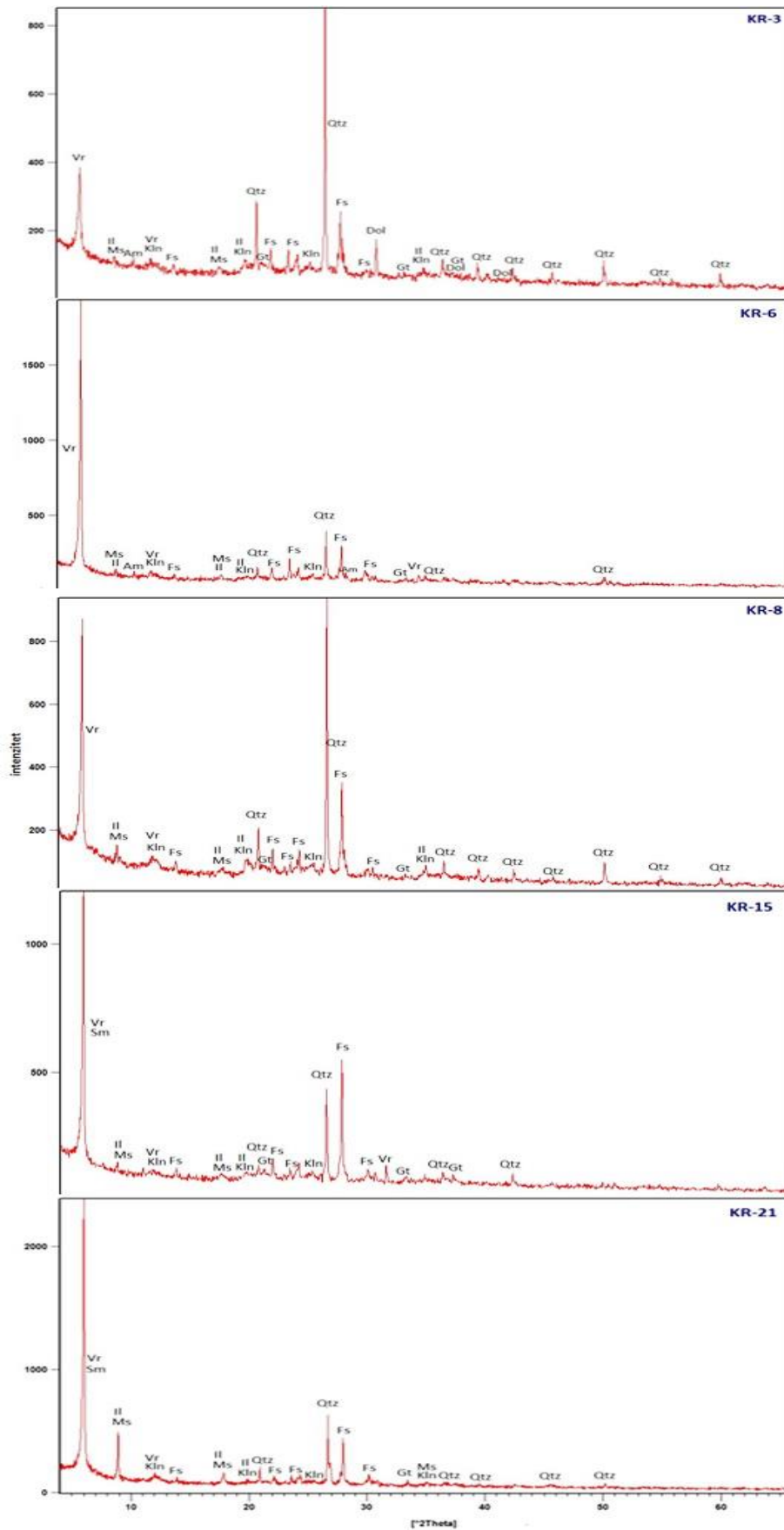


Slika 32 Difraktogrami uzoraka Č-23 i Č-34 iz jezgre P7/8-B1 (lokacija Črešnjevce) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; *Cal* – kalcit, *Ch* – klorit, *Dol* – dolomit, *Fs* – feldspati, *Gt* – getit, *Il/Ms* – tinjci (ilit/muskovit), *Kln* – kaolinit, *Qtz* – kvarc, *Sm* – smektit

Sastav uzoraka iz jezgre P7-B2 s lokacije Krematorij prikazan je u tablici 18. Glavne mineralne vrste u uzorcima su vermikulit, kvarc i feldspati. Od navedenih mineralnih vrsta u većini uzoraka je vermikulit najdominantniji, dok je kvarc dominantan samo u uzorcima iz prvih nekoliko metara jezgre. Sporedne mineralne vrste u uzorcima su kaolinit, getit, tinjci i amfiboli. Uz navedene minerale, u uzorcima iz intervala od 16 do 32 metara javlja se i smektit.

Tablica 18 Mineralni sastav uzoraka iz bušotine P7-B2 (Krematorij) s istaknutim glavnim i sporednim mineralnim vrstama, *Am* – amfiboli, *Ch* – klorit, *Dol* – dolomit, *Fs* – feldspati, *Gt* – getit, *Il/Ms* – tinjci (ilit/muskovit), *Kln* – kaolinit, *Qtz* – kvarc, *Sm* – smektit, *Vrm* – vermikulit

bušotina	Litostr. jedinica	dubina uzorkovanja (m)	oznaka uzorka	glavne mineralne vrste	sporedne mineralne vrste
P7-B2	Bistra	0,85-1,00	KR-2	Qtz, Vrm, Fs	Kln, Il/Ms, Gt
		1,60-1,90	KR-3	Qtz, Vrm, Fs	Kln, Il/Ms, Am, Gt, Dol
		2,70-2,90	KR-4	Qtz, Vrm, Fs	Kln, Il/Ms, Gt
		7,65-7,90	KR-6	Vrm, Fs	Qtz, Il/Ms, Am, Kln, Gt
		10,30-10,50	KR-7	Vrm, Qtz	Fs, Il/Ms, Am, Kln, Gt
		11,55-11,85	KR-8	Qtz, Vrm, Fs	Kln, Il/Ms, Gt
		16,50-16,80	KR-12	Vrm, Qtz, Fs	Kln, Il/Ms, Gt, Am
		19,65-19,90	KR-14	Vrm, Qtz, Fs	Am, Il/Ms, Kln, Gt
		20,70-20,90	KR-15	Vrm, Qtz, Fs	Sm, Il/Ms, Gt, Kln, Am
		24,15-24,50	KR-17	Vrm, Qtz, Fs	Sm, Il/Ms, Kln, Gt
		25,10-25,50	KR-18	Vrm, Qtz, Fs	Sm, Il/Ms, Kln, Gt, Am
		27,70-28,00	KR-20	Vrm, Qtz, Fs	Il/Ms, Sm, Kln, Gt, Am
		28,70-29,00	KR-21	Vrm, Fs, Qtz	Il/Ms, Sm, Kln, Gt, Am
31,30-31,50	KR-22	Vrm, Qtz, Fs	Il/Ms, Sm, Kln, Gt, Am		



Slika 33 Difraktogrami uzoraka KR-3, KR-6, KR-8, KR-15 i KR-21 iz bušotine P7-B2 (Krematorij) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; Am – amfiboli, Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr - vermikulit

Na slici 33 prikazani su difraktogrami odabranih uzoraka iz bušotine P7-B2. Na njima se mogu vidjeti vrlo jaki intenziteti vermikulita (14.5 Å) i kvarca (3.34 Å, 4.25 Å). Osim vermikulita, u uzorcima iz intervala od 16 do 32 metra, pik na 14.5 Å označava i smektit. Ipak, kvantitativna analiza ovih uzoraka pokazala je da smektita ima znatno manje od vermikulita (tablica 22). Osim vermikulita i kvarca, dominantna mineralna vrsta u uzorcima su i feldspati s vrlo jakim difrakcijskim maksimumom na 3.18 Å te dobro izraženim difrakcijskim maksimumima na 6.35 Å, 4.02 Å, 3.77 Å, 3.65 Å i 2.90-2.95 Å.

Tablica 19 prikazuje mineralni sastav uzoraka iz bušotine P9-B4 izbušene na lokaciji Sjeverna ulica. Najdominantnija mineralna vrsta u uzorcima iz litostratigrafske jedinice Bistra je kvarc. Osim kvarca, u nekoliko uzoraka, kao dominantni minerali, javljaju se još vermikulit i tinjci. Od sporednih mineralnih vrsta identificirani su feldspati, kaolinit i getit. Osim ovih minerala, u uzorcima iz dubljih dijelova jezgre, utvrđena je i prisutnost smektita. Samo u jednom uzorku identificiran je klorit, dok amfibol u uzorcima iz ove bušotine nije identificiran.

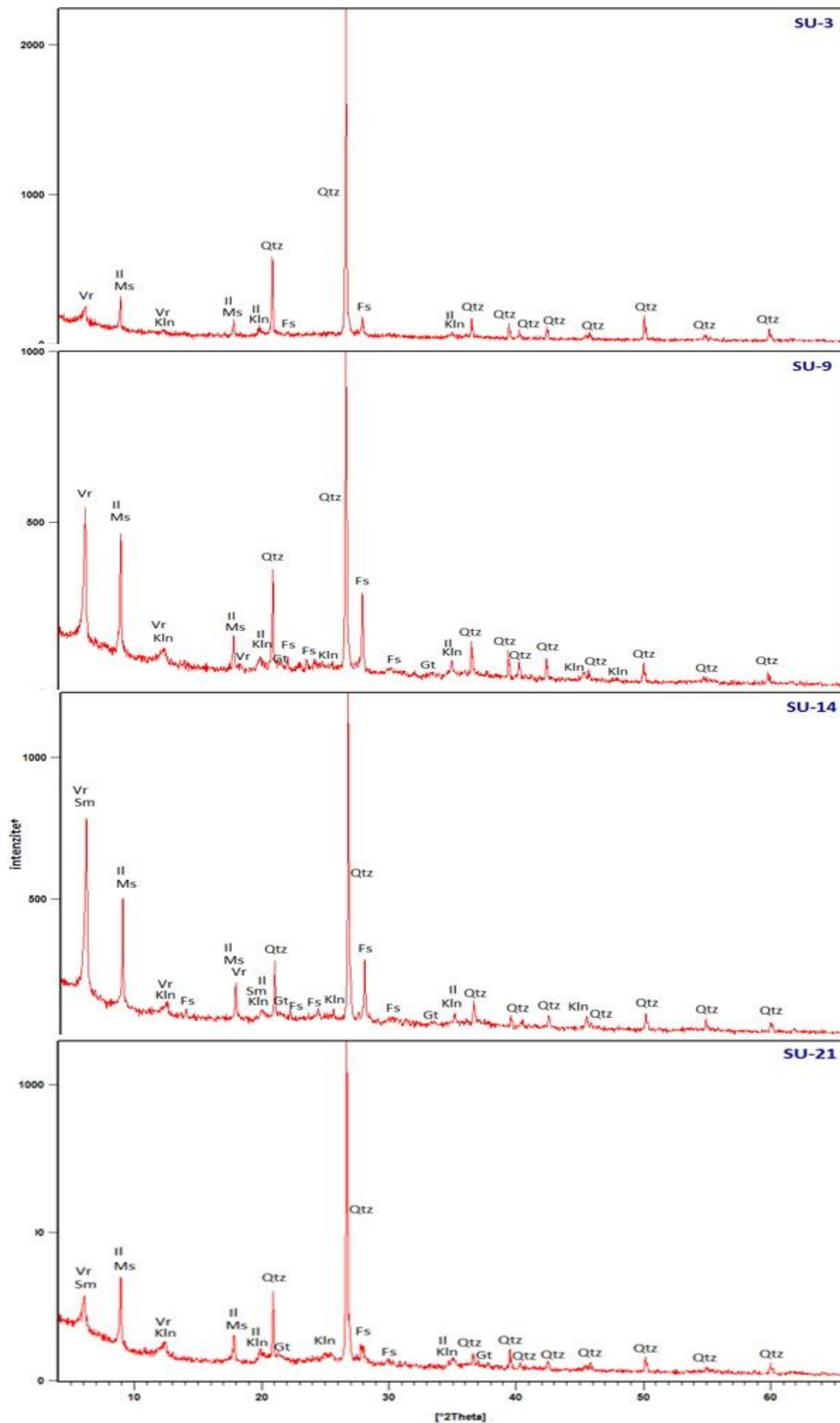
Tablica 19 Mineralni sastav uzoraka iz bušotine P9-B4 (Sjeverna ulica) s istaknutim glavnim i sporednim mineralnim vrstama, Am – amfiboli, Fs – feldspati, Gt – getit, Ilt/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vrm - vermikulit

bušotina	Litostrat. jedinica	dubina uzorkovanja (m)	oznaka uzorka	glavne mineralne vrste	sporedne mineralne vrste	
P9-B4	Bistra	1,50-1,90	SU-1	Qtz	Vrm, Ilt/Ms, Fs, Kln, Ch, Gt	
		3,00-3,45	SU-2	Qtz	Vrm, Ilt/Ms, Fs, Kln, Gt	
		5,50-5,80	SU-3	Qtz	Vrm, Ilt/Ms, Fs, Kln, Gt	
		7,00-7,45	SU-4	Qtz	Ilt/Ms, Fs, Kln, Vrm, Gt	
		8,50-8,80	SU-5	Qtz, Ilt/Ms, Vrm	Fs, Kln, Gt	
		10,00-10,45	SU-6	Qtz	Ilt/Ms, Kln, Vrm, Fs, Ch, Gt	
		11,50-11,45	SU-7	Qtz	Ilt/Ms, Kln, Vrm, Fs, Gt	
		12,50-12,70	SU-8	Qtz	Ilt/Ms, Kln, Vrm, Gt	
		14,00-14,45	SU-9	Qtz, Vrm, Ilt/Ms	Fs, Kln, Gt	
		15,50-15,95	SU-10	Qtz, Vrm, Ilt/Ms	Fs, Kln, Gt	
		20,50-20,95	SU-13	Qtz, Vrm	Fs, Ilt/Ms, Kln, Gt	
		22,10-22,55	SU-14	Qtz, Vrm	Ilt/Ms, Fs, Kln, Sm, Gt	
		22,80-23,00	SU-15	Qtz, Fs, Vrm	Ilt/Ms, Kln, Sm, Gt	
		26,60-27,00	SU-17	Qtz, Vrm, Ilt/Ms	Fs, Sm, Kln, Gt	
		27,00-27,45	SU-18	Qtz, Vrm, Ilt/Ms	Fs, Sm, Kln, Gt	
		30,00-30,45	SU-20	Qtz	Ilt/Ms, Vrm, Kln, Gt	
		31,50-31,80	SU-21	Qtz	Ilt/Ms, Vrm, Fs, Kln, Sm, Gt	
		31,80-32,00	SU-22	Qtz	Kln, Vrm, Fs, Gt	
		Pluska?	33,30-33,50	SU-24	Qtz, Ilt/Ms	Kln, Gt, Fs, Vrm,
			35,00-35,50	SU-25	Qtz, Ilt/Ms	Kln, Fs, Gt

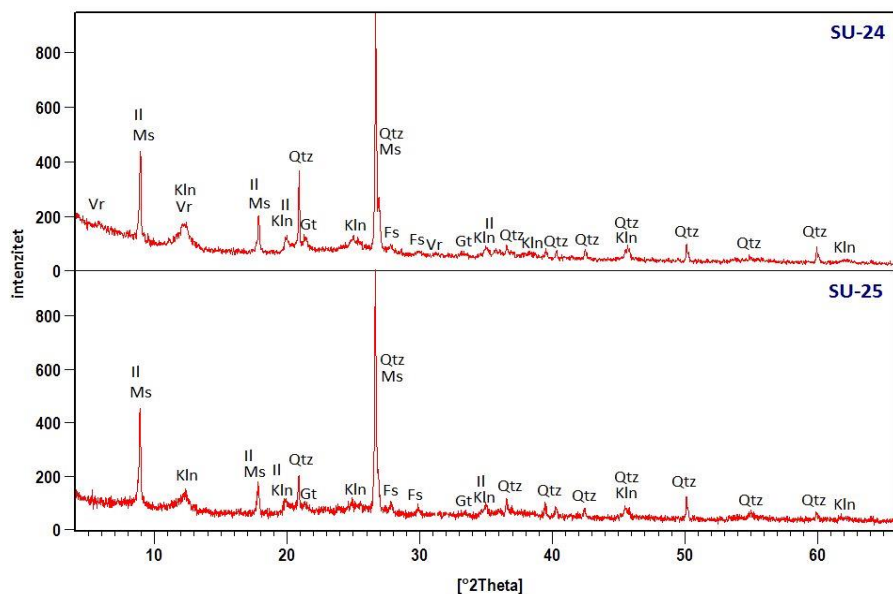
Na slici 34 prikazani su karakteristični difraktogrami uzoraka iz jezgre P9-B4 na kojima se vidi da su difrakcijske slike uzorka SU-3, iz početnog intervala jezgre, i SU-21 iz završnog intervala jezgre vrlo slične. Difrakcijski maksimumi kvarca su najizraženiji što

ukazuje na to da je kvarc najzastupljeniji mineral u uzorku. Tome u prilog ide i kvantitativna analiza čiji rezultati za uzorke iz jezgre P9-B4 su prikazani u tablici 23. Suprotno uzorcima SU-3 i SU-21, uzorci SU-9 i SU-14, osim intenzivnih difrakcijskih maksimuma kvarca, imaju vrlo izražene difrakcijske maksimume na 14.5 Å i 10 Å koji u ovom slučaju ukazuju na dominantnu prisutnost vermikulita i tinjaca (ilit/muskovit). Osim vermikulita u uzorku SU-14 je utvrđena prisutnost smektita čiji difrakcijski maksimum se također poklapa s maksimumom vermikulita, ali kvantitativnom analizom je utvrđeno da smektita u uzorku ima znatno manje od vermikulita.

Iz bušotine P9-B4, izbušene na lokaciji Sjeverna ulica, samo dva uzorka pripadaju gornjem miocenu. Vizualno, litološki i mineraloški oni su vrlo slični uzorcima Č-18 i Č-22 iz jezgre P7/8-B1 za koje se pretpostavlja da također pripadaju litostratigrafskoj jedinici Pluska. Dominantne mineralne vrste u ovim uzorcima su također kvarc i tinjci, a podređeno su prisutni kaolinit, feldspati i getit. Vermikulit je prisutan u vrlo malom udjelu i to samo u uzorku SU-24. Difrakcijske slike navedenih uzoraka prikazane su na slici 35. Najjači difrakcijski maksimumi pripadaju kvarcu i tinjcima. Uz njih, značajnijeg intenziteta su i difrakcijski maksimumi kaolinita na 7.2, 3.6, 2.56 i 1.99 Å te getita na 4.18 Å i 2.67 Å. Vrlo slab difrakcijski maksimum na 14.5 Å, koji pripada vermikulitu, vidljiv je samo kod uzorka SU-24.



Slika 34 Difraktogrami uzoraka SU-3, SU-9, SU-14 i SU-21 iz jezgre P9-B4 (lokacija Sjeverna ulica) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; *Fs* – feldspati, *Gt* – getit, *Il/Ms* – tinjci (ilit/muskovit), *Kln* – kaolinit, *Qtz* – kvarc, *Sm* – smektit, *Vr* – vermikulit



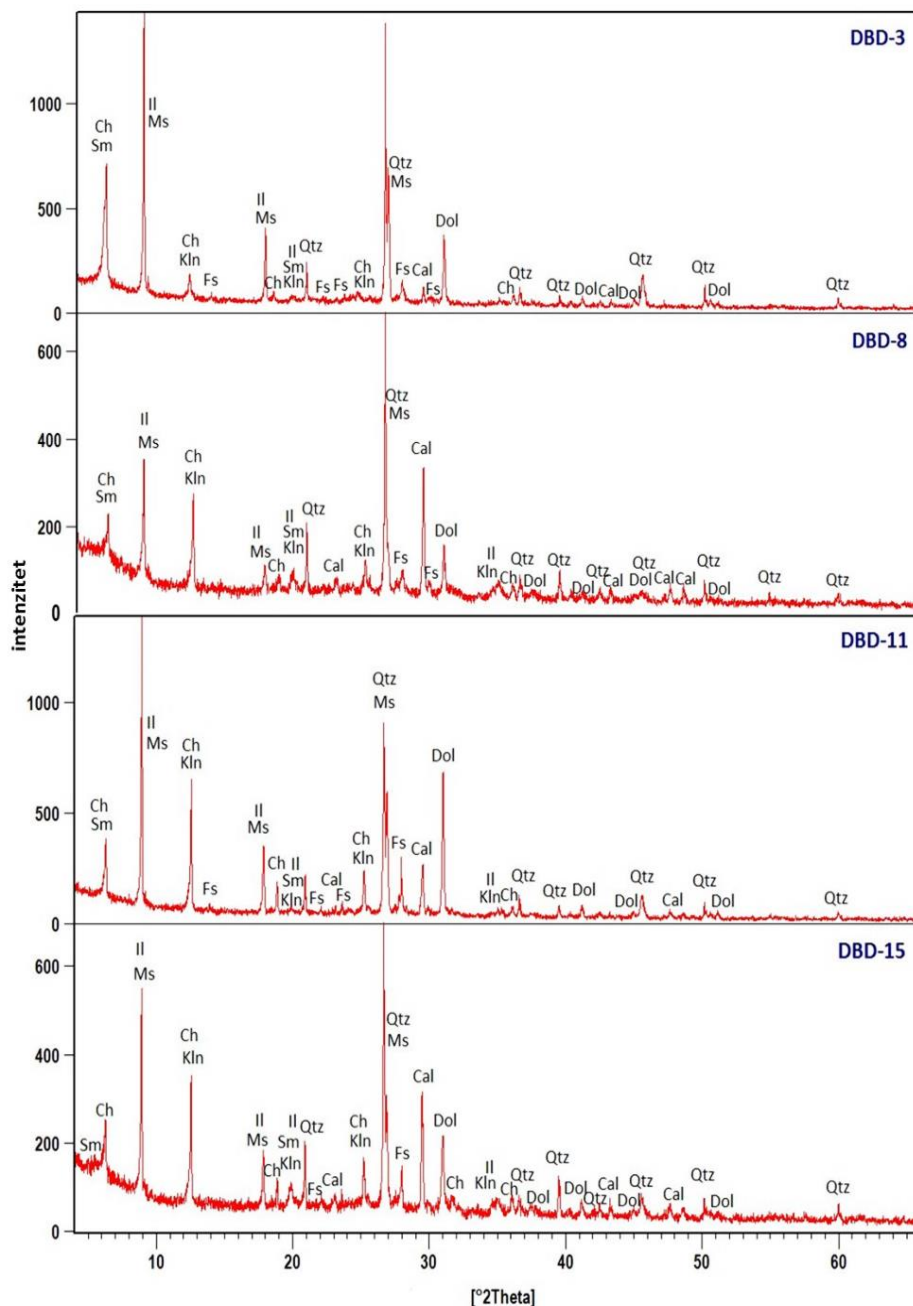
Slika 35 Difraktogrami uzoraka su-24 i SU-25 iz jezgre P9-B4 (lokacija Sjeverna ulica) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; *Fs* – feldspati, *Gt* – getit, *Il/Ms* – tinjci (ilit/muskovit), *Kln* – kaolinit, *Qtz* – kvarc, *Vr* – vermikulit

Uzorci iz bušotine P11-B4a s lokacije Dobrodol Breg pripadaju litostratigrafskoj jedinici Andraševac. Najdominantnija mineralna vrsta u uzorku su tinjci. Uz tinjčaste minerala značajan težinski udjel u uzorcima ima i kvarc. Među sporednim mineralnim vrstama dominiraju karbonati (dolomit i kalcit) s prosječnim udjelom od oko 20 %. Od značajnijih minerala su još feldspati i klorit čiji je udio u svim analiziranim uzorcima ujednačen i kreće se između 10 i 15 % (tablica 24). Najmanji udio u uzorcima odnosi se na kaolinit i smektit čiji udjel u uzorcima ne prelazi 10%. Među navedenim mineralima nije prisutan getit koji je karakterističan za uzorke iz ostalih litostratigrafskih jedinica.

Tablica 20 Mineralni sastav uzoraka iz bušotine P11-B4a (Dobrodolski Breg) s istaknutim glavnim i sporednim mineralnim vrstama; *Do* – dolomit, *Ca* – kalcit, *Ch* – klorit, *Fs* – feldspati, *Gt* – getit, *Ilt/Ms* – tinjci (ilit/muskovit), *Kln* – kaolinit, *Qtz* – kvarc, *Sm* - smektit

bušotina	litostrat. pripadnost	dubina uzorkovanja	oznaka uzorka	glavne mineralne vrste	sporedne mineralne vrste
P11-B4a	Andraševac	3,70-4,00	DBD-1	Ilt/Ms, Qtz	Do, Fs, Ch, Kln, Sm, Cal
		7,70-8,00	DBD-3	Ilt/Ms, Qtz	Do, Fs, Ch, Kln, Sm, Cal
		12,00-12,30	DBD-6	Ilt/Ms, Qtz	Do, Fs, Ch, Kln, Sm, Cal
		14,20-14,50	DBD-7	Ilt/Ms, Qtz	Do, Ch, Fs, Sm, Kln
		16,30-16,60	DBD-8	Qtz, Ilt/Ms	Cal, Ch, Fs, Do, Sm, Kln
		20,70-21,00	DBD-9	Qtz, Ilt/Ms	Do, Cal, Ch, Fs, Sm, Kln
		23,00-23,45	DBD-10	Ilt/Ms, Qtz	Cal, Ch, Dol, Fs, Sm, Kln
		26,00-26,45	DBD-11	Ilt/Ms, Qtz	Dol, Fs, Ch, Cal, Sm, Kln
		29,00-29,30	DBD-12	Ilt/Ms, Qtz	Dol, Ch, Fs, Cal, Sm, Kln
		34,40-34,70	DBD-15	Ilt/Ms, Qtz	Cal, Ch, Fs, Dol, Kln, Sm

Na slici 36 prikazane su difrakcijske slike nekoliko uzoraka iz bušotine P11-B4a. Na njima su vidljivi vrlo jaki difrakcijski maksimumi tinjaca i kvarca. Za razliku od difrakcijskih slika uzoraka iz ostalih litostratigrafskih jedinica, vidljivo je da su u uzorcima iz jedinice Andraševac vrlo izraženi pikovi klorita (14.03, 7.05 i 3.55 Å), kalcita (3.85, 3.03, 2.09 i 1.90 Å) i dolomita (2.88, 2.40, 2.19, 2.01 i 1.78 Å).



Slika 36 Difraktogrami odabranih uzoraka iz jezgre P11-B4a (lokacija Sjeverna ulica) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; Cal – kalcit, Ch – klorit, Dol – dolomit, Fs – feldspati, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit

Iz opisanih podataka dobivenih na temelju mineraloških analiza primjećene su razlike u mineralnom sastavu sitnozrnastih tala prema litostratigrafskim jedinicama. Uzorci

sitnozrnastih tala iz jedinice Bistra prikupljeni su na tri lokacije: Črešnjevec, Krematorij i Sjeverna ulica. Pregledom podataka prikazanih u tablicama 21, 22, 23 i 24 primjećuje se kako su u jedinici Bistra dominantni minerali kvarc, vermikulit (mineral glina), feldspati i tinjci (tablica 21, 22, 23), no njihovi udjeli se mijenjaju ovisno o lokaciji uzorkovanja. Sitnozrnaste vrste tla s lokacije Črešnjevec gotovo kroz cijeli interval koji pripada jedinici Bistra sadrže dominantno u svom sastavu vermikulit s udjelima od 9 do 42% te feldspate čiji udio varira od 5 do 25%, dok se dominantnost kvarca pokazala samo u dva uzorka sa završetka intervala jezgre s udjelom od oko 60% (tablica 21). Za razliku od lokacije Črešnjevec, na lokaciji Krematorij dominantne su sve tri prethodno navedene mineralne vrste. Maseni udio vermikulita mijenja se u rasponu od 22 do 44%, udjel kvarca od 12 do 40%, a udjel feldspata od 14 do 26% (tablica 22). Prema masenom udjelu kvarc dominira nad vermikulitom i feldspatom u prvom dijelu intervala jezgre, dok u drugom dijelu prevladava vermikulit. Sitnozrnasta tla s lokacije Sjeverna ulica u usporedbi s tlima s lokacije Črešnjevec i Krematorij pokazuju znatnu razliku u udjelima navedenih minerala. Uzorci dominantno u svom sastavu kao glavnu mineralnu vrstu sadrže kvarc čiji udjel varira od 30 do 65%. Uz kvarc u pojedinim djelovima intervala povećani udjel pokazuju vermikulit (20 – 26%) i tinjčasti minerali s masenim udjelom između 15 i 22% (tablica 23).

Sitnozrnasta tla jedinice Pluska razlikuju se od ostalih po tome što u svom sastavu dominantno sadrže kvarc i tinjčaste minerale dok se kaolinit, feldspati, getit i vermikulit javljaju podređeno s mnogo manjim udjelima (tablice 21 i 23). U svim uzorcima prikupljenim s lokacije Črešnjevec i Sjeverna ulica masenim udjelom dominiraju kvarc (38 – 45%) i tinjčasti minerali (20 – 28%).

Sitnozrnasta tla iz jedinice Hum Zabočki i Andraševac pokazuju veliku sličnost u mineralnom sastavu u kojem dominiraju tinjčasti minerali i kvarc (tablica 21 i 24). Udio tinjčastih minerala u jedinici Hum Zabočki se kreće od 20 do 31%, a u tlima jedinice Andraševac od 18 – 32%. Udio kvarca u jedinici Hum Zabočki se kreće u intervalu od 13 – 42%, dok se jedinici Andraševac kreće u intervalu od 16 – 29%. Glavna razlika u odnosu na jedinice Pluska i Bistra vidljiva je iz sadržaja sporednih mineralnih vrsta, a čine ga klorit, smektit, kaolinit, getit te karbonatni minerali – kalцит i dolomit. Udjel karbonata i klorita nešto je veći u tlima iz jedinice Andraševac.

Tablica 21 Približni udio minerala glina u uzorcima tala iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec) dobiven kvantitativnom analizom uzorka uz pomoć internog standarda (ZnO); Am – amfiboli, Ca – kalcit, Do – dolomit, Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit, * -uzorci u kojima je utvrđena prisutnost i klorita i vermikulita – u njima nije bilo moguće odrediti kvantitativni udio zasebno za svaki mineral, već je on prikazan kao njihov zbroj

uzorak	dubina (m)	litostrat. pripadnost	mineralni sastav (tež. %)											
			Qtz	Gt	Fs	Am	Ca	Do	Il/Ms	Kln	Vr	Ch	Sm	minerali glina - ukupno
Č-3	1,30-1,60	Bistra	16	3	21	11			1	7	41			49
Č-5	2,60-3,00		10	3	25	9			5	6	42			53
Č-6	5,70-6,00		14	5	21	5			10	9	36			55
Č-7	7,70-8,00		23	4	18	4			10	8	33*			51
Č-9	10,30-10,60		14	2	24	6			9	6	39*			54
Č-13	14,40-14,60		65		6				12	8	9			29
Č-14	15,00-15,30		61	2	5				8	10	14			32
Č-18	17,50-17,75	Pluska	45	3	10				20	13	9			42
Č-22	20,00-20,30		45	6	10				25	14				39
Č-23	21,10-21,50	Hum Zabočki	42	2	10				29	9		4	4	46
Č-24	21,70-22,00		36	1	13				24	7		9	10	50
Č-27	23,50-23,80		24	1	14			2	31	8		12	8	59
Č-34	26,70-27,00		18	1	12		7	17	23	7		10	5	45
Č-39	31,50-31,70		13		11		6	13	30	9		12	6	57
Č-40	34,75-35,00		20		11		8	14	26	5		9	7	47

Tablica 22 Približni udio minerala glina u uzorcima tala iz bušotine P7-B2 (Krematorij) dobiven kvantitativnom analizom uzorka uz pomoć internog standarda (ZnO); Am – amfiboli, Ca – kalcit, Do – dolomit, Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit,

uzorak	dubina (m)	litostrat. pripadnost	mineralni sastav (tež. %)											
			Qtz	Gt	Fs	Am	Ca	Do	Il/Ms	Kln	Vr	Ch	Sm	minerali glina - ukupno
KR-2	0,85-1,00	Bistra	31	4	21	4			5	9	26			40
KR-3	1,60-1,90		39	4	17	5			6	7	22			35
KR-4	2,70-2,90		40	5	16				5	9	25			39
KR-6	7,65-7,90		12	4	17	8			10	5	44			59
KR-7	10,30-10,50		18	3	14	7			11	5	42			58
KR-8	11,55-11,85		32	3	18				10	11	26			47
KR-12	16,50-16,80		22	3	23	3			6	6	25		12	49
KR-14	19,65-19,90		18	3	24	9			6	3	37			46
KR-15	20,70-20,90		23	4	26	3			5	3	28		8	44
KR-17	24,15-24,50		20	4	25				8	6	27		10	51
KR-18	25,10-25,50		14	4	26	2			7	5	31		11	54
KR-20	27,70-28,00		23	5	21	3			12	6	23		7	48
KR-21	28,70-29,00		23	3	20	2			14	5	26		7	52
KR-22	31,30-31,50		23	4	20	2			14	6	24		7	51

Tablica 23 Približni udio minerala glina u uzorcima tala iz bušotine P9-B4 (Sjeverna ulica) dobiven kvantitativnom analizom uzorka uz pomoć internog standarda (ZnO); Am – amfiboli, Ca – kalcit, Do – dolomit, Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit, * - u uzorcima u kojima je utvrđena prisutnost i klorita i vermikulita nije bilo moguće odrediti kvantitativni udio zasebno za svaki mineral, već je on prikazan kao njihov zbroj

uzorak	dubina (m)	litostrat. jedinica	mineralni sastav (tež. %)												
			Qtz	Gt	Fs	Am	Ca	Do	Il/Ms	Kln	Vr	Ch	Sm	minerali glina - ukupno	
SU-1	1,50-1,90	Bistra	53	4	12				12	9	10*			31	
SU-2	3,00-3,45		46	5	11				12	11	15			38	
SU-3	5,50-5,80		47	3	12				13	11	14			38	
SU-4	7,00-7,45		41	3	15				17	13	11			41	
SU-5	8,50-8,80		31	5	13				22	9	13		7	51	
SU-6	10,00-10,45		48	5	7				14	11	12*		3	40	
SU-7	11,50-11,45		46	5	11	7			9	11	11			31	
SU-8	12,50-12,70		42	7					18	19	14			51	
SU-9	14,00-14,45		33	3	14				20	7	23			50	
SU-10	15,50-15,95		30	5	13				21	7	24			52	
SU-13	20,50-20,95		37	5	16				13	7	22			42	
SU-14	22,10-22,55		32	4	12				15	9	21		7	52	
SU-15	22,80-23,00		30	4	20				16	6	18		6	46	
SU-17	26,60-27,00		32	3	12				19	6	20		8	53	
SU-18	27,00-27,45		30	3	11				15	5	26		10	56	
SU-20	30,00-30,45		47	3	9				18	9	14			41	
SU-21	31,50-31,80		43	3	10				18	9	11		6	44	
SU-22	31,80-32,00		65	4	4					19	8			27	
SU-24	33,30-33,50		Pluska	39	10	6				23	16	6			45
SU-25	35,00-35,50			38	9	9				28	16				44

Tablica 24 Približni udio minerala glina u uzorcima tala iz bušotine P11-B4a (Dobrodolski Breg) dobiven kvantitativnom analizom uzorka uz pomoć internog standarda (ZnO); Am – amfiboli, Ca – kalcit, Ch – klorit, Do – dolomit, Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit,

uzorak	dubina (m)	litostrat. pripadnost	mineralni sastav (tež. %)											
			Qtz	Gt	Fs	Am	Ca	Do	Il/Ms	Kln	Vr	Ch	Sm	minerali glina - ukupno
DBD-1	3,70-4,00	Andraševac	16		12		6	14	26	9		11	6	52
DBD-3	7,70-8,00		17		13		4	14	27	7		13	5	52
DBD-6	12,00-12,30		18		14		5	16	26	5		11	5	47
DBD-7	14,20-14,50		16		11		7	14	30	3		13	6	52
DBD-8	16,30-16,60		29		10		15	7	18	4		12	5	39
DBD-9	20,70-21,00		27		9		13	14	18	3		11	5	37
DBD-10	23,00-23,45		23		9		12	10	25	4		11	6	46
DBD-11	26,00-26,45		20		11		7	14	29	4		10	5	48
DBD-12	29,00-29,30		25		9		5	10	32	4		10	5	51
DBD-15	34,40-34,70		22		10		11	9	25	7		10	6	48

5.1.3. Kapacitet kationske izmjene (CEC)

U tablicama broj 26, 27, 28 i 29 su prikazane vrijednosti kapaciteta kationske izmjene (CEC) na uzorcima prema lokaciji bušotine. Kapacitet kationske izmjene je mjera za negativne naboje minerala glina, alofana, oksida i humusa. Dobivene vrijednosti predstavljaju količinu negativnog naboja u tlu (izraženu u meq/100 g tla) koja je dostupna za izmjenu pri pH 7. Hazelton & Murphy (2007) prema vrijednostima CEC-a razlikuju nekoliko kategorija tla (tablica 25).

Tablica 25 Kategorije tla prema vrijednostima CEC-a (preuzeto iz Hazelton & Murphy, 2007)

KATEGORIJA TLA	CEC (meq/100g)
tla vrlo niskog CEC-a	< 6
tla niskog CEC-a	6 – 12
tla srednjeg CEC-a	12 – 25
tla visokog CEC-a	25 – 40
tla vrlo visokog CEC-a	> 40

Tablica 26 Kapacitet kationske izmjene na uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne i gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec)

litostr. jedinica	oznaka uzorka		konc. Cu ²⁺ (mmol/l)		CEC (meq/100g)	
			neutrošena	utrošena	pojedinačno	prosjeak
BISTRA	Č-3	Č-3A	0,855	1,145	22,89	23,82
		Č-3B	0,848	1,152	23,03	
		Č-3C	0,722	1,278	25,55	
	Č-5	Č-5A	0,750	1,250	25,00	23,44
		Č-5B	0,841	1,159	23,16	
		Č-5C	0,890	1,110	22,16	
	Č-6	Č-6A	0,722	1,278	25,54	25,69
		Č-6B	0,701	1,299	25,97	
		Č-6C	0,722	1,278	25,56	
	Č-7	Č-7A	0,939	1,061	21,21	21,12
		Č-7B	0,953	1,047	20,93	
		Č-7C	0,939	1,061	21,21	
	Č-9	Č-9A	0,967	1,033	20,66	20,70
		Č-9B	0,953	1,047	20,93	
		Č-9C	0,974	1,026	20,52	
	Č-13	Č-13A	1,366	0,634	12,68	12,68
		Č-13B	1,373	0,627	12,54	
		Č-13C	1,359	0,641	12,82	
Č-14	Č-14A	1,121	0,879	17,57	14,07	
	Č-14B	1,156	0,844	16,88		
	Č-14C	1,611	0,389	7,77		

PLUSKA	Č-18	Č-18A	0,722	1,278	25,53	25,08
		Č-18B	0,806	1,194	23,88	
		Č-18C	0,708	1,292	25,84	
	Č-22	Č-22A	1,233	0,767	15,34	15,24
		Č-22B	1,233	0,767	15,34	
		Č-22C	1,247	0,753	15,04	
HUM ZABOČKI	Č-23	Č-23A	1,401	0,599	11,97	11,84
		Č-23B	1,401	0,599	11,98	
		Č-23C	1,422	0,578	11,56	
	Č-24	Č-24A	0,883	1,117	22,31	22,24
		Č-24B	0,876	1,124	22,48	
		Č-24C	0,904	1,096	21,92	
	Č-27	Č-27A	1,086	0,914	18,28	18,18
		Č-27B	1,093	0,907	18,14	
		Č-27C	1,093	0,907	18,13	
	Č-34	Č-34A	1,422	0,578	11,56	11,37
		Č-34B	1,443	0,557	11,13	
		Č-34C	1,429	0,571	11,42	
	Č-39	Č-39A	1,317	0,683	13,65	13,47
		Č-39B	1,331	0,669	13,37	
		Č-39C	1,331	0,669	13,38	
	Č-40	Č-40A	1,289	0,711	14,22	13,84
		Č-40B	1,317	0,683	13,65	
		Č-40C	1,317	0,683	13,66	

U tablici 26 prikazane su dobivene vrijednosti kapaciteta kationske izmjene za uzorke sitnozrnastih tala prikupljenih na lokaciji Črešnjevec (bušotina P7/8-B1). Promatrajući vrijednosti vidljivo je kako uzorci s početka intervala, koji pripadaju litostratigrafskoj jedinici Bistra, kao i uzorci iz jedinice Pluska (uzorci Č-18 i Č-22) predstavljaju sitnozrnasta tla srednjih vrijednosti CEC-a, odnosno vrijednosti CEC-a su u rasponu 12- 26 meq/100g tla. Za razliku od njih, uzorci iz litostratigrafske jedinice Hum Zabočki (Č 23-Č 40) pokazuju niže vrijednosti i prema tome predstavljaju sitnozrnasta tla uglavno niskih vrijednosti CEC-a.

Uzorci iz litostratigrafske jedinice Bistra s lokacije Krematorij (bušotina P7-B2) pokazuju vrlo slične vrijednosti CEC-a kao i uzorci jedinice Bistra iz bušotine na lokaciji Črešnjevec (tablica 27). Stoga i ovi uzorci pripadaju tlama srednjih vrijednosti CEC-a s izuzetkom uzoraka KR-17 i KR-18 koji prelaze graničnu vrijednost i pripadaju skupini tala s relativno visokim CEC-om.

U tablici 28 također su prikazane vrijednosti CEC-a za uzorke tala iz jedinice Bistra s lokacije Sjeverna ulica (bušotina P9-B4) čiji raspon CEC-a u intervalu 14 – 25 meq/100 g, također pripada srednjim vrijednostima. Uzorci SU-24 i SU-25 koji pripadaju jedinici Pluska također pripadaju tlama sa srednjim vrijednostima CEC-a, no te vrijednosti su relativno niske (14-15 meq/100g) uzme li se u obzir da se radi o uzorcima tala koja imaju relativno visoki udjel glinovite frakcije.

Tablica 27 Kapacitet kationske izmjene uzoraka sitnozrnastih tala pliokvartarne stratigrafske pripadnosti iz bušotine P7-B2 (Krematorij).

litostr. jedinica	oznaka uzorka		konc. Cu ²⁺ (mmol/l)		CEC (meq/100g)	
			neutrošena	utrošena	pojedinačno	prosjeak
BISTRA	KR-2	KR-2A	0,778	1,222	24,42	24,71
		KR-2B	0,757	1,243	24,84	
		KR-2C	0,757	1,243	24,86	
	KR-3	KR-3A	1,030	0,970	19,39	19,06
		KR-3B	1,051	0,949	18,98	
		KR-3C	1,058	0,942	18,82	
	KR-4	KR-4A	0,799	1,201	24,00	23,31
		KR-4B	0,869	1,131	22,62	
		KR-4C	0,834	1,166	23,32	
	KR-6	KR-6A	1,079	0,921	18,40	19,86
		KR-6B	0,995	1,005	20,10	
		KR-6C	0,946	1,054	21,08	
	KR-7	KR-7A	0,862	1,138	22,76	22,43
		KR-7B	0,918	1,082	21,63	
		KR-7C	0,855	1,145	22,89	
	KR-8	KR-8A	0,799	1,201	24,02	23,97
		KR-8B	0,813	1,187	23,73	
		KR-8C	0,792	1,208	24,16	
	KR-12	KR-12A	0,848	1,152	23,03	23,64
		KR-12B	0,806	1,194	23,88	
		KR-12C	0,799	1,201	24,01	
	KR-14	KR-14A	0,995	1,005	20,08	20,19
KR-14B		0,995	1,005	20,10		
KR-14C		0,981	1,019	20,38		
KR-15	KR-15A	0,820	1,180	23,60	23,65	
	KR-15B	0,820	1,180	23,60		
	KR-15C	0,813	1,187	23,73		
KR-17	KR-17A	0,603	1,397	27,92	27,51	
	KR-17B	0,617	1,383	27,65		
	KR-17C	0,652	1,348	26,96		
KR-18	KR-18A	0,652	1,348	26,96	26,85	
	KR-18B	0,666	1,334	26,65		
	KR-18C	0,652	1,348	26,96		
KR-20	KR-20A	0,960	1,040	20,80	21,03	
	KR-20B	0,939	1,061	21,22		
	KR-20C	0,946	1,054	21,07		
KR-21	KR-21A	0,708	1,292	25,82	25,92	
	KR-21B	0,708	1,292	25,83		
	KR-21C	0,694	1,306	26,11		
KR-22	KR-22A	0,932	1,068	21,32	21,48	
	KR-22B	0,925	1,075	21,49		
	KR-22C	0,918	1,082	21,63		

Tablica 28 Kapacitet kationske izmjene na uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne i gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti iz bušotine P9-B4 (Sjeverna ulica)

litostr. jedinica	oznaka uzorka		konc. Cu ²⁺ (mmol/l)		CEC (meq/100g)	
			neutrošena	utrošena	pojedinačno	prosjeak
BISTRA	SU-1	SU-1A	1,086	0,914	18,27	17,90
		SU-1B	1,142	0,858	17,16	
		SU-1C	1,086	0,914	18,27	
	SU-2	SU-2A	0,932	1,068	21,35	21,77
		SU-2B	0,988	1,012	20,23	
		SU-2C	0,813	1,187	23,74	
	SU-3	SU-3A	1,205	0,795	15,88	16,13
		SU-3B	1,184	0,816	16,32	
		SU-3C	1,191	0,809	16,18	
	SU-4	SU-4A	0,729	1,271	25,41	25,50
		SU-4B	0,729	1,271	25,42	
		SU-4C	0,715	1,285	25,69	
	SU-5	SU-5A	0,911	1,089	21,77	21,77
		SU-5B	0,904	1,096	21,92	
		SU-5C	0,918	1,082	21,63	
	SU-6	SU-6A	1,226	0,774	15,46	13,93
		SU-6B	1,394	0,606	12,12	
		SU-6C	1,289	0,711	14,22	
	SU-7	SU-7A	0,904	1,096	21,91	22,42
		SU-7B	0,827	1,173	23,44	
		SU-7C	0,904	1,096	21,90	
	SU-8	SU-8A	0,820	1,180	23,58	23,31
		SU-8B	0,820	1,180	23,60	
		SU-8C	0,862	1,138	22,74	
	SU-9	SU-9A	1,170	0,830	16,60	16,87
		SU-9B	1,114	0,886	17,72	
		SU-9C	1,184	0,816	16,30	
	SU-10	SU-10A	1,254	0,746	14,92	14,82
		SU-10B	1,275	0,725	14,50	
		SU-10C	1,247	0,753	15,06	
SU-13	SU-13A	1,240	0,760	15,20	15,20	
	SU-13B	1,226	0,774	15,48		
	SU-13C	1,254	0,746	14,91		
SU-14	SU-14A	0,981	1,019	20,37	20,69	
	SU-14B	0,960	1,040	20,78		
	SU-14C	0,953	1,047	20,92		
SU-15	SU-15A	1,058	0,942	18,83	18,79	
	SU-15B	1,093	0,907	18,13		
	SU-15C	1,030	0,970	19,39		
SU-17	SU-17A	0,876	1,124	22,48	22,56	
	SU-17B	0,876	1,124	22,45		
	SU-17C	0,862	1,138	22,75		
SU-18	SU-18A	0,631	1,369	27,35	27,64	
	SU-18B	0,610	1,390	27,78		
	SU-18C	0,610	1,390	27,77		
SU-20	SU-20A	1,282	0,718	14,35	14,36	
	SU-20B	1,289	0,711	14,22		
	SU-20C	1,275	0,725	14,50		
SU-21	SU-21A	1,030	0,970	19,38	19,99	
	SU-21B	0,974	1,026	20,50		
	SU-21C	0,995	1,005	20,09		
SU-22	SU-22A	1,247	0,753	15,06	14,82	
	SU-22B	1,254	0,746	14,91		
	SU-22C	1,275	0,725	14,50		
PLUSKA	SU-24	SU-24A	1,233	0,767	15,34	15,01
		SU-24B	1,240	0,760	15,19	
		SU-24C	1,275	0,725	14,50	
	SU-25	SU-25A	1,296	0,704	14,08	14,17
		SU-25B	1,289	0,711	14,21	
		SU-25C	1,289	0,711	14,21	

Tablica 29 Kapacitet kationske izmjene na uzorcima sitnozrnastih tala gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti iz bušotine P11-B4a (Dobrodolski Breg).

litostr. jedinica	oznaka uzorka		konc. Cu ²⁺ (mmol/l)		CEC (meq/100g)	
			neutrošena	utrošena	pojedinačno	prosjek
ANDRAŠEVEC	DBD-1	DBD-1A	1,184	0,816	16,30	16,63
		DBD-1B	1,198	0,802	16,03	
		DBD-1C	1,121	0,879	17,56	
	DBD-3	DBD-3A	1,296	0,704	14,08	13,94
		DBD-3B	1,317	0,683	13,66	
		DBD-3C	1,296	0,704	14,07	
	DBD-6	DBD-6A	1,492	0,508	10,15	10,57
		DBD-6B	1,457	0,543	10,86	
		DBD-6C	1,464	0,536	10,71	
	DBD-8	DBD8-A	1,317	0,683	13,65	13,47
		DBD-8B	1,275	0,725	14,49	
		DBD-8C	1,387	0,613	12,26	
	DBD-9	DBD-9A	1,457	0,543	10,85	10,76
		DBD-9B	1,464	0,536	10,71	
		DBD-9C	1,464	0,536	10,72	
DBD-10	DBD-10A	1,506	0,494	9,88	10,16	
	DBD-10B	1,499	0,501	10,02		
	DBD-10C	1,471	0,529	10,57		
DBD-11	DBD-11A	1,534	0,466	9,32	9,46	
	DBD-11B	1,534	0,466	9,32		
	DBD-11C	1,513	0,487	9,74		
DBD-12	DBD-12A	1,625	0,375	7,50	9,22	
	DBD-12B	1,478	0,522	10,43		
	DBD-12C	1,513	0,487	9,74		
DBD-15	DBD-15A	1,268	0,732	14,64	14,54	
	DBD-15B	1,296	0,704	14,07		
	DBD-15C	1,254	0,746	14,92		

U tablici 29 prikazane su dobivene vrijednosti kapaciteta kationske izmjene CEC-a za uzorke tala iz jedinice Andraševac (bušotina P11-B4a) i one uglavnom pripadaju kategoriji relativno niskih i srednjih vrijednosti CEC-a. Radi se o prahovima koji sadrže relativno manje udjele glinovite frakcije u odnosu na prahove s drugih lokacija. Izuzetak predstavljaju uzorci DBD-1 i DBD-8 koji sadrže nešto veću količinu glinovite frakcije u odnosu na ostale uzorke, pa razmjerno tome pokazuju malo povećane vrijednosti CEC-a (13 i 17 meq/100 g).

5.2. FIZIČKA SVOJSTVA SITNOZRNASTIH TALA PLIOKVARTARNE I GORNJOMIOCENSKE STAROSTI

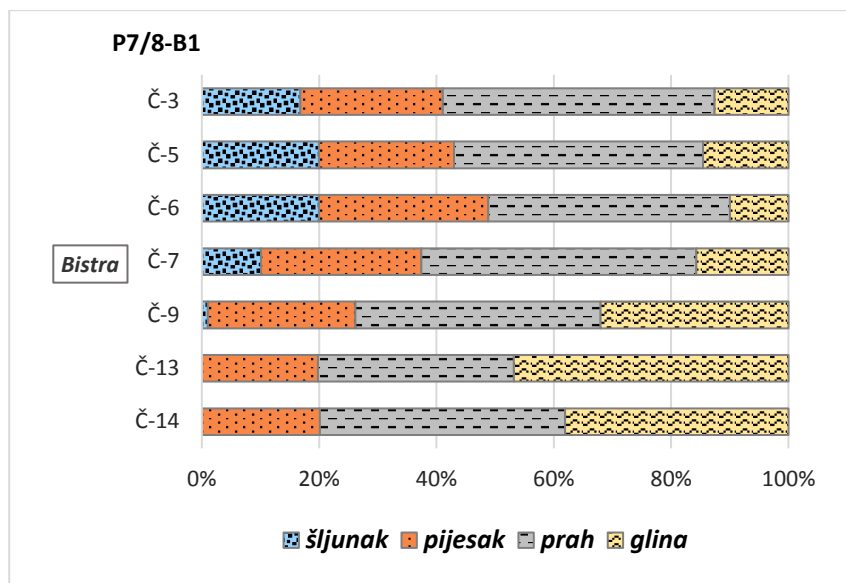
5.2.1 Granulometrijski sastav

Granulometrijski sastav određen je na svim prikupljenim uzorcima (ukupno 59 uzoraka) prema ASTM-ovoj standardiziranoj metodi (ASTM D 422-63, 2007), a vrste tla s obzirom na granulometrijski sastav određene su prema USCS geomehaničkoj klasifikaciji (ASTM D 2487 – 06, 2006). Prema ovoj klasifikaciji krupnu frakciju čine čestice 60 – 0,06 mm, a sitnu frakciju čestice manje od 0,06 mm. Pri tome se u prahove ubrajaju čestice veličine od 0,06 – 0,002 mm, a sve čestice manje od 0,002 mm (2 μ m) se ubrajaju u gline.

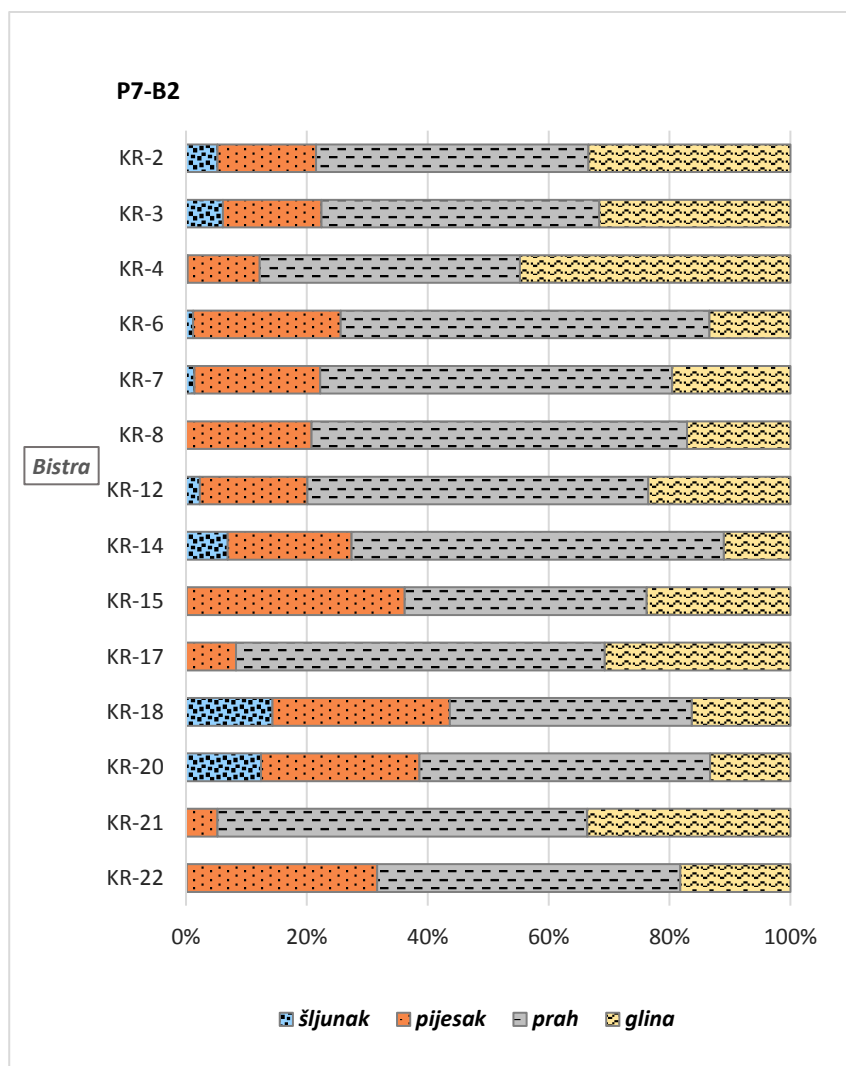
Prema rezultatima granulometrijske analize, pliokvartarne vrste tla pokazuju vrlo veliku raznolikost s obzirom na udjele pojedinih frakcija. Budući da se radi o sitnozrnastim tlima, frakcije praha i gline su najzastupljenije, a u krupnozrnastoj frakciji dominiraju pijesci. Šljunci se javljaju podređeno (nisu prisutni u svim uzorcima) i u znatno manjem udjelu. Na slikama 37, 38 i 39 grafički su prikazani udjeli pojedinih frakcija u uzorcima pliokvartarne starosti prikupljenim iz tri bušotine na lokacijama Črešnjevec (P7/8-B1), Krematorij (P7-B2) i Sjeverna ulica (P9-B4).

Od ukupno 39 uzoraka pliokvartarne starosti, u samo dva uzorka glinovita frakcija je zastupljena s više od 50 mas. %. To su uzorci SU-7 s 65% glinovite frakcije i SU-8 s čak 70% glinovite frakcije. U ostalim uzorcima prevladavaju čestice veličine praha. Pet uzoraka ima maseni udio gline i praha u podjednakim omjerima. Primjerice u uzorku SU-2 maseni udio gline je 48%, a praha 47%.

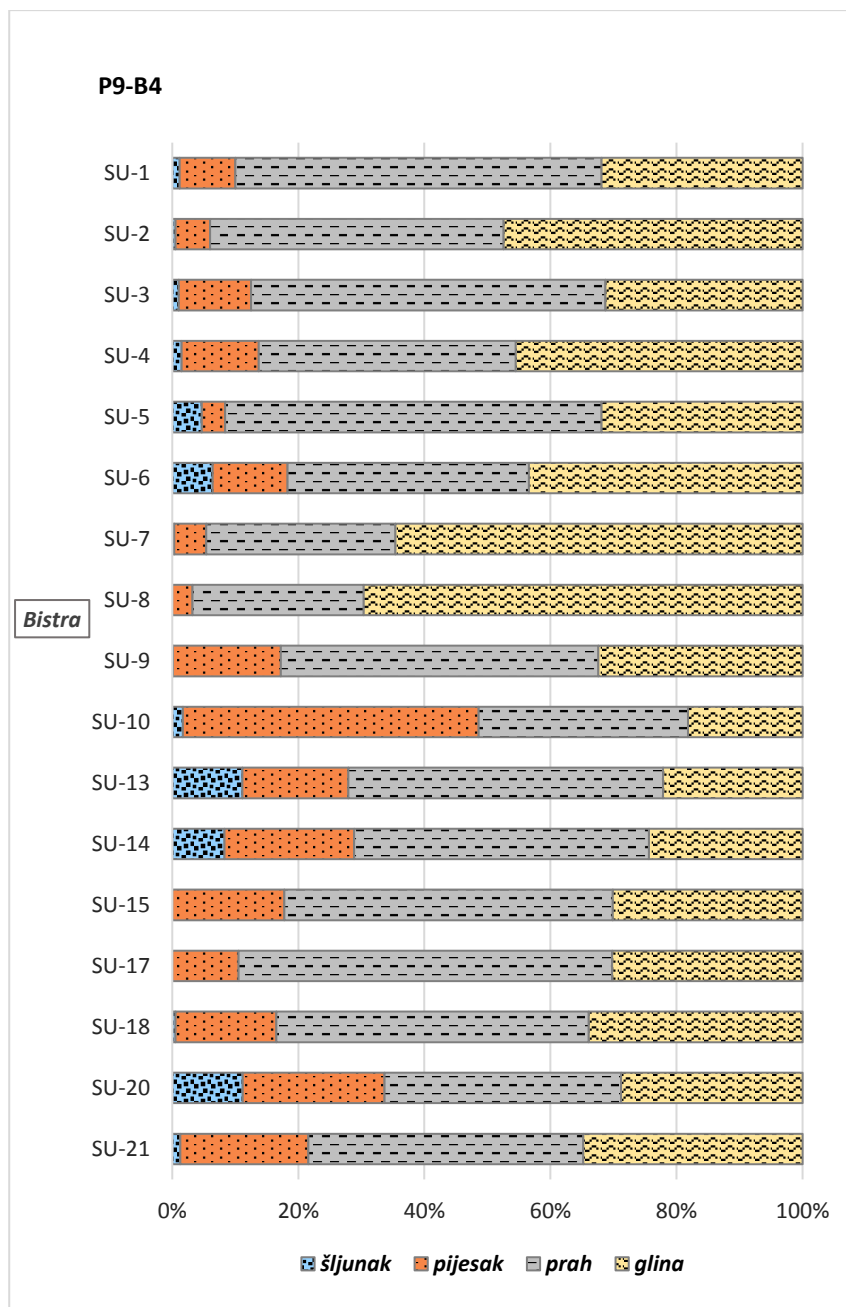
U uzorcima s lokacije Črešnjevec udio pijeska i praha je ujednačen u gotovo svim uzorcima (S: 20-30%, M: 33-47%), dok je udio gline i šljunka vrlo promjenjiv (G: 0–20%, C: 10–47%) (slika 37). U granulometrijskom sastavu pliokvartarnih tala iz bušotine Krematorij i Sjeverna ulica čestice veličine praha dominiraju nad ostalim frakcijama te njihov maseni udio varira u rasponu od oko 30–60%. Udio ostalih frakcija vrlo je varijabilan. Udio glinovite frakcije se mijenja u granicama od minimalno 10 do maksimalno 48 mas. % s izuzetkom dva, ranije navedena, uzorka u kojima frakcija gline prelazi 50 mas. % (slika 38 i 39).



Slika 37 Grafički prikaz udjela granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti (litostratigrafska jedinica Bistra) iz bušotine P7/8 – B1 na lokaciji Črešnjevec.



Slika 38 Grafički prikaz udjela granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti (litostratigrafska jedinica Bistra) iz bušotine P7-B2 na lokaciji Krematorij.

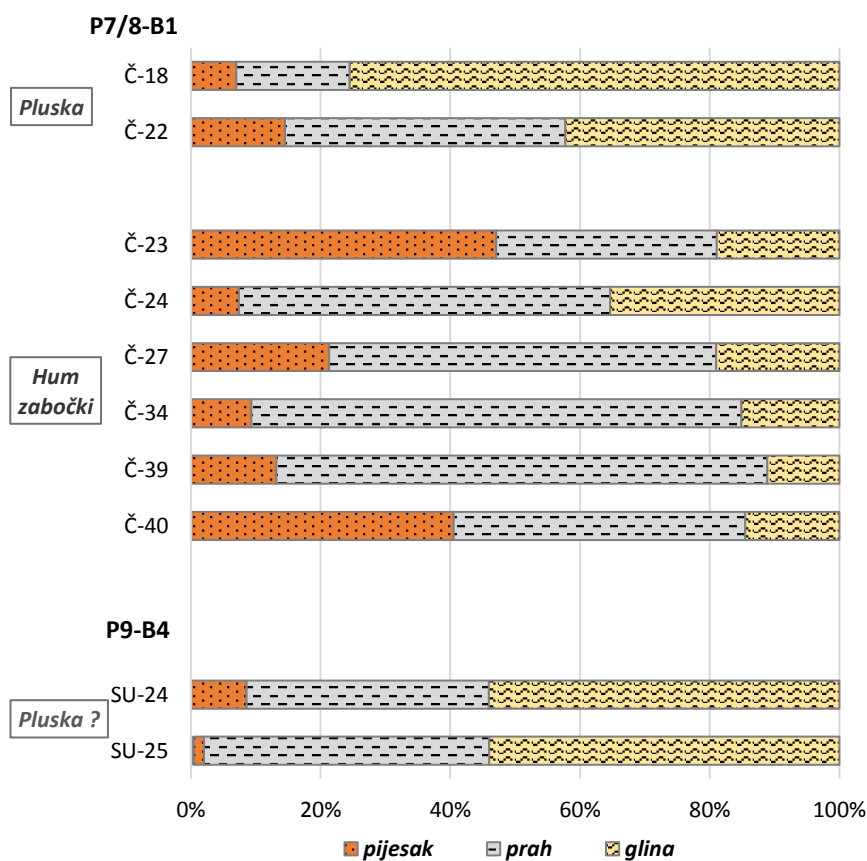


Slika 39 Grafički prikaz udjela granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti (litostratigrafska jedinica Bistra) iz bušotine P9-B4 na lokaciji Sjeverna ulica.

Granulometrijski sastav uzoraka tala gornjomiocenske starosti razlikuje se s obzirom na litostratigrafsku pripadnost što se već na prvi pogled može primijetiti na slikama 40 i 41 na kojima je grafički prikazan udio pojedinih frakcija u uzorcima tala gornjomiocenske starosti prikupljenim iz tri bušotine (P7/8-B1, P9-B4 i P11-B4a).

Na slici 40 prikazan je granulometrijski sastav uzoraka iz bušotine P7/8 – B1 s lokacije Črešnjevce i bušotine P9-B4 s lokacije Sjeverna ulica. Uzorci Č-18 i Č-22 (litostratigrafska jedinica Pluska) iz bušotine P7/8-B1 su izdvojeni jer se razlikuju od ostalih uzoraka po karakterističnoj crvenoj boji te po tome što, za razliku od ostalih uzoraka, sadrže vrlo visoki udio glinovite frakcije. Uzorak Č-18 sadrži gotovo 80% glinovite frakcije. Uzorak Č-22

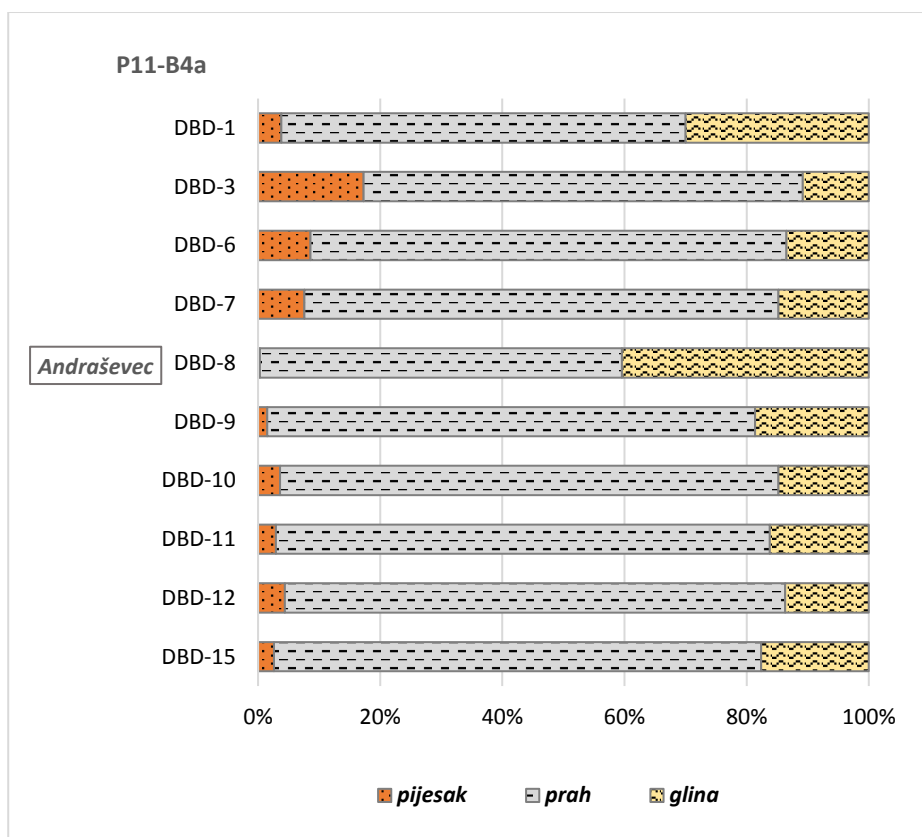
također je karakteristične crvene boje, sadrži relativno visoki udio glinovite frakcije u odnosu na ostale uzorke iz ove bušotine, ali ne toliko kao uzorak Č-18. Prema zajednici teških minerala, određenoj u prijašnjim istraživanjima (Višić, 2012) provedenim na ovoj lokaciji, pretpostavljeno je da ovaj tip crvenih tala pripada litostratigrafskoj jedinici Pluska, taloženoj na prijelazu iz gornjeg miocena u pliocen (Kovačić, 2004). Njima su vrlo slični uzorci SU-24 i SU-25 iz bušotine P9-B4 s lokacije Sjeverna ulica, također izrazito crvene boje i s visokim udjelima glinovite frakcije što je ujedno i razlog zašto su prikazani zajedno na slici. Na temelju njihove sličnosti i relativnog položaja u odnosi na pliokvartarne i ostale gornjomiocenske uzorke u bušotini, pretpostavljeno je da i oni pripadaju litostratigrafskoj jedinici Pluska. U ostalim uzorcima s lokacije Črešnjevec udio glinovite frakcije je vrlo varijabilan i kreće se od minimalno 10 do maksimalno 35 mas. %.



Slika 40 Grafički prikaz udjela granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala gornjomiocenske starosti (litostratigrafske jedinice Pluska i Hum Zabočki) iz bušotine P7/8-B4 (lokacija Črešenjevec) i bušotine P9-B4 (lokacija Sjeverna ulica). ? – pretpostavljena litostratigrafska pripadnost.

Za razliku od uzoraka s lokacije Črešnjevec i Sjeverna ulica, uzorci tala gornjomiocenske starosti iz bušotine P11-B4a s lokacije Dobrodol breg pokazuju ujednačeniji raspon granulometrijskih frakcija (slika 41) pri čemu su prahovi najdominantnija frakcija.

Njihov udio kreće se u rasponu od minimalnih 59 do maksimalnih 82 mas. %. U odnosu na uzorke iz ostalih bušotina, frakcija pijeska je zastupljena u znatno manjoj mjeri. Prema litološkom sastavu, dominantnom udjelu praha te prisutnosti karbonatnih minerala, utvrđeno je da ova tla pripadaju litostratigrafskoj jedinici Andraševac.

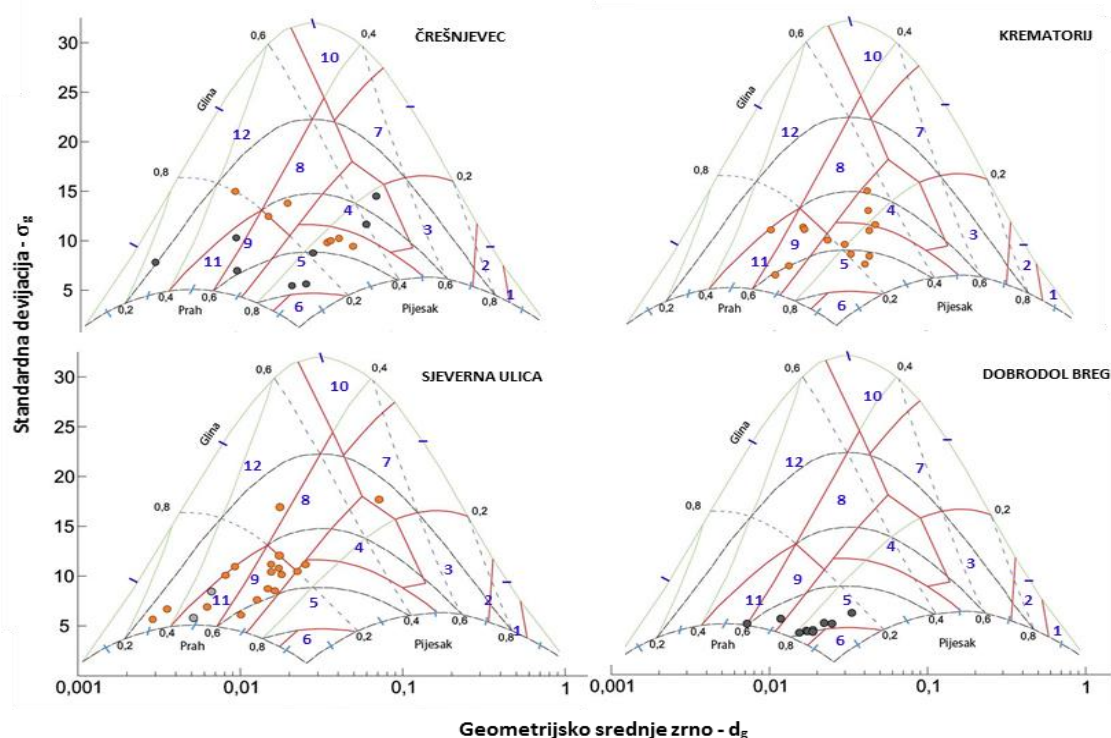


Slika 41 Grafički prikaz raspodjele granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti iz bušotine P11-B4a na lokaciji Sjeverna ulica.

5.2.3 Specifična površina

Za izračunavanje specifične površine korištene su hidrauličke vodljivosti dobivene korištenjem Kozeny – Carmanove jednadžbe (jednadžba 7), a vrijednosti hidrauličke vodljivosti izračunate pomoću jednadžbe prema Campbell & Campbell (jednadžba 9) poslužile su za provjeru. Na slici 41 prikazani su uzorci sa sve četiri lokacije istraživanja na Shirazi & Boersma trokomponentnim dijagramima dobivenim rotacijom trokutnih dijagrama USDA klasifikacije tala u ortogonalni sustav geometrijskog srednjeg promjera (d_g) i standardne devijacije veličine čestica (σ_g). Na osnovi udjela pijeska, praha i gline, određene su vrijednosti srednjeg geometrijskog zrna (d_g) i standardne devijacije veličina čestica (σ_g), potrebne kao ulazni podatak za određivanje specifične površine tla.

Rezultati analize specifične površine prikazani su u četiri tablice (32, 33, 34 i 35), razvrstani prema lokaciji uzorkovanja. Uzorci pliokvartarne starosti označeni su narančastom bojom, a uzorci gornjomiocenske starosti sivom bojom. Uz specifičnu površinu, kao krajnji rezultat, prikazane su i vrijednosti hidrauličke vodljivosti kao i granulometrijski parametri svakog uzorka koji su korišteni kao ulazni podaci.



Slika 42 Uzorci sa sve četiri lokacije prikazani na ortogonalnm trokomponentnm dijagramu prema Shirazi & Boersma (1984) korištenom za određivanje geometrijskog srednjeg zrna (d_g) i standardne devijacije veličine čestica (σ_g). Oznake polja na dijagramina: (1) pijesak, (2) ilovasti pijesak, (3) pjeskovita ilovača, (4) ilovača, (5) prahovita ilovača, (6) prah, (7) pjeskovito – glinovita ilovača, (8) glinovita ilovača, (9) prahovito – glinovita ilovača, (10) pjeskovita glina, (11) prahovita glina, (12) glina. Žutom bojom označeni su uzorci pliokvartarne starosti, a sivom bojom uzorci gornjomiocenske starosti.

Vrijednosti specifične površine svih uzoraka variraju ovisno o tome kakav je omjer sitnozrnaste i krupnozrnaste frakcije u uzorku, odnosno koliki je udio glinovite frakcije u odnosu na ostale frakcije. Dakle, ova vrijednost predstavlja vanjsku specifičnu površinu tla (za razliku od unutarnje i ukupne specifične površine) koja ovisi o veličini i obliku čestica od kojih je tlo građeno. U skladu s navedenim, iz rezultata prikazanih u tablicama 32, 33, 34 i 35 primjećuje se da uzorci koji sadrže veći udio glinovite frakcije imaju i veću specifičnu površinu (npr. uzorci Č-14, Č-18, SU-24, SU-25, SU-7 i SU-8) te su oni klasificirani kao visokoplastične gline. Međutim, dio uzoraka (npr. uzorci KR-2, KR-3, DBD-12) klasificiranih kao visokoplastične gline ili visokoplastični prahovi ima relativno malu vanjsku specifičnu

površinu. Primjerice uzorak KR-2 klasificiran je kao visokoplastična glina, no njegova specifična površina iznosi tek 32 m²/g.

Iz sažetog prikaza rezultata analize specifične površine sitnozrnastih tala prikazanog u tablici 30 može se primjetiti kako su vrijednosti specifične površine vrlo varijabilne ovisno o vrsti tla i njihovoj litostratigrafskoj pripadnosti. Promatrajući sitnozrnasta tla jedinice Bistra može se primjetiti vrlo veliki raspon vrijednosti specifične površine od minimalno 8 m²/g do maksimalnih 225 m²/g. Prosječna vrijednost specifične površine visokoplastičnih glina (CH) iznosi 80 m²/g, niskoplastičnih glina (CL) iznosi 33 m²/g, dok prosječna vrijednost specifične površine niskoplastičnih prahova (ML) iznosi 26 m²/g. U usporedbi s jedinicom Bistra, visokoplastične gline jedinice Pluska imaju znatno veće prosječne vrijednosti (105 m²/g). Sitnozrnasta tla gornjomiocenske starosti, koji su klasificirani kao niskoplastični i visokoplastični prahovi, također se razlikuju prema vrijednostima specifične površine. Glavnina uzoraka iz jedinice Hum Zabočki su niskoplastični prahovi (ML). Njihova prosječna vrijednost specifične površine iznosi 19 m²/g, dok je prosječna vrijednost niskoplastičnih prahova iz jedinice Andraševac veća i iznosi 31,6 m²/g. Visokoplastični prahovi jedinice Andraševac pokazuju visoku prosječnu vrijednost specifične površine (71 m²/g), no ona je i dalje niža od primjerice visokoplastičnih glina jedinice Bistra.

Tablica 30 Sažeti prikaz rezultata analize specifične površine sitnozrnastih tala prema njihovoj starosti i litostratigrafskoj pripadnosti.

starost	litostr. jedinica	vrsta tla	broj uzoraka	specifična površina (m ² /g)	
				raspon	prosjeak
PLIOKVARTAR	BISTRA	CL	15	8 – 126	33
		CH	11	27 – 225	80
		ML	13	3 – 66	26
GORNJI MIOCEN	PLUSKA	CH	4	59 – 156	105
	HUM ZABOČKI	ML	5	13 – 26	19
		MH	1	68	--
	ANDRAŠEVEC	ML	5	17 – 48	32
		MH	5	32 - 142	71

Tablica 31 Osnovne granulometrijske veličine, hidraulička vodljivost i vrijednosti specifične površine dobivene iz hidrauličke vodljivosti preko Kozeny – Carmanove jednačbe za uzorke iz bušotine P7/8-B1 s lokacije Črešnjevac. Narančastom bojom su označeni uzorci pliokvartarne starosti, a sivom uzorci gornjomiocenske starosti.

oznaka uzorka	litostr. jedinica	vrsta tla	dubina uzorkovanja (m)	gustoća čvrstih čestica (gcm^{-3})	udio sitnozrnaste frakcije		veličina srednjeg zrna (mm)		stand. dev. vel. čestica σ_g	efektivna poroznost n_e	hidraulička vodljivost- K (m/s)		specifična površina (m^2/g)
					prah	glina	$d_{g\text{-graf}}$	d_{mg}			Kozeny-Carman	Campbell & Campbell	
Č-3	BISTRA	ML	1,30-1,60	2,63	0,46	0,13	0,040	0,0487	9,0	0,160	6,6E-07	3,2E-07	7
Č-5		ML	2,60-3,00	2,71	0,44	0,15	0,040	0,0495	9,8	0,161	6,9E-07	2,9E-07	7
Č-6		ML	5,70-6,00	2,83	0,43	0,09	0,060	0,0894	8,7	0,225	7,2E-06	1,8E-06	3
Č-7		CL	7,70-8,00	2,77	0,47	0,16	0,045	0,0372	10,0	0,137	2,3E-07	2,6E-07	9
Č-9		CL	10,30-10,60	2,64	0,42	0,32	0,022	0,0112	13,7	0,065	1,9E-09	6,0E-09	32
Č-13		CH	14,40-14,60	2,77	0,33	0,47	0,001	0,0063	15,0	0,050	2,6E-10	5,7E-10	60
Č-14		CL	15,00-15,30	2,62	0,42	0,38	0,015	0,0077	12,5	0,057	8,2E-11	2,8E-10	126
Č-18	PLUSKA	CH	17,50-17,75	2,77	0,19	0,76	0,003	0,0017	7,6	0,030	1,9E-11	3,4E-11	104
Č-22		CH	20,00-20,30	2,50	0,43	0,42	0,010	0,0060	10,2	0,050	2,4E-10	3,9E-10	59
Č-23	HUM ZABOČKI	ML	21,10-21,50	2,69	0,33	0,19	0,085	0,0258	14,5	0,105	4,6E-08	5,1E-08	13
Č-24		MH	21,70-22,00	2,74	0,57	0,35	0,010	0,0057	7,0	0,049	2,0E-10	5,3E-10	68
Č-27		ML	23,50-23,80	2,73	0,60	0,19	0,031	0,0161	8,2	0,081	7,8E-09	1,1E-08	23
Č-34		ML	26,70-27,00	2,85	0,76	0,15	0,021	0,0144	5,3	0,080	6,0E-09	6,0E-09	26
Č-39		ML	31,50-31,70	2,74	0,76	0,11	0,010	0,0186	5,7	0,084	1,2E-08	1,3E-08	19
Č-40		ML	34,75-35,00	2,56	0,45	0,15	0,070	0,0248	11,9	0,104	4,1E-08	4,7E-08	14

Tablica 32 Osnovne granulometrijske veličine, hidraulička vodljivost i vrijednosti specifične površina dobivene iz hidrauličke vodljivosti preko Kozeny – Carmanove jednadžbe za uzorke iz bušotine P7-B2 s lokacije Krematorij; narančastom bojom su označeni uzorci pliokvartarne starosti, a sivom uzorci gornjomiocenske starosti.

oznaka uzorka	litostr. jedinica	vrsta tla	dubina uzorkovanja (m)	gustoća čvrstih čestica (gcm^{-3})	udio sitnozrnaste frakcije		veličina srednjeg zrna (mm)		stand. dev. vel. čestica	efektivna poroznost	hidraulička vodljivost – K (m/s)		specifična površina (m^2/g)
					prah	glina	$d_{g\text{-graf}}$	d_{Ing}	σ_g	n_e	Kozeny-Carman	Campbell & Campbell	
KR-2	BISTRA	CH	0,85-1,00	2,65	0,45	0,34	0,015	0,0113	11,5	0,065	1,9E-09	1,4E-09	32
KR-3		CH	1,60-1,90	2,70	0,46	0,32	0,015	0,0134	11,0	0,075	4,2E-09	1,6E-09	27
KR-4		CH	2,70-2,90	2,65	0,43	0,45	0,010	0,0050	11,0	0,045	1,2E-10	2,6E-10	73
KR-6		ML	7,65-7,90	2,61	0,61	0,13	0,042	0,0202	7,8	0,085	1,4E-08	2,6E-08	17
KR-7		ML	10,30-10,50	2,55	0,58	0,20	0,030	0,0156	9,0	0,082	7,6E-09	1,0E-08	22
KR-8		ML	11,55-11,85	2,82	0,62	0,17	0,031	0,0136	8,0	0,080	5,4E-09	1,2E-08	27
KR-12		ML	16,50-16,80	2,53	0,56	0,24	0,021	0,0129	9,3	0,075	3,9E-09	4,5E-09	27
KR-14		CL	19,65-19,90	2,76	0,62	0,11	0,040	0,0312	7,5	0,120	1,0E-07	2,8E-08	11
KR-15		ML	20,70-20,90	2,74	0,40	0,24	0,041	0,0190	14,9	0,084	1,2E-08	1,2E-08	19
KR-17		ML	24,15-24,50	2,83	0,61	0,31	0,011	0,0067	7,0	0,053	3,6E-10	7,6E-10	56
KR-18		ML	25,10-25,50	2,57	0,40	0,17	0,041	0,0459	12,5	0,155	5,2E-07	2,6E-08	7
KR-20		CL	27,70-28,00	2,79	0,48	0,14	0,041	0,0430	11,0	0,152	4,3E-07	2,7E-08	8
KR-21		ML	28,70-29,00	2,55	0,61	0,34	0,010	0,0055	6,5	0,045	1,4E-10	5,1E-10	66
KR-22		CL	31,30-31,50	2,50	0,50	0,18	0,047	0,0198	11,5	0,085	1,4E-08	2,2E-08	17

Tablica 33 Osnovne granulometrijske veličine, hidraulička vodljivost i vrijednosti specifične površina dobivene iz hidrauličke vodljivosti preko Kozeny – Carmanove jednadžbe za uzorke iz bušotine P9-B4 s lokacije Sjeverna ulica; narančastom bojom su označeni uzorci pliokvartarne starosti, a sivom uzorci gornjomiocenske starosti.

oznaka uzorka	litostr. jedinica	vrsta tla	dubina uzorkovanja (m)	gustoća čvrstih čestica (gcm^{-3})	udio sitnozrnaste frakcije		veličina srednjeg zrna (mm)		stand. dev. vel. čestica	efektivna poroznost	hidraulička vodljivost – K (m/s)		specifična površina (m^2/g)
					prah	glina	$d_{g\text{-graf}}$	d_{lng}	σ_g	n_e	Kozeny-Carman	Campbell & Campbell	
SU-1	BISTRA	CH	1,50-1,90	2799	0,58	0,32	0,011	0,007	7,5	0,053	3,9E-10	3,9E-09	54
SU-2		CH	3,00-3,45	2672	0,47	0,48	0,006	0,004	7,0	0,041	5,9E-11	6,1E-10	92
SU-3		CL	5,50-5,80	2682	0,56	0,31	0,013	0,008	8,5	0,057	6,2E-10	5,5E-09	47
SU-4		CH	7,00-7,45	2703	0,41	0,46	0,008	0,006	10,0	0,050	2,5E-10	1,3E-09	61
SU-5		CL	8,50-8,80	2685	0,60	0,32	0,010	0,007	6,0	0,053	4,1E-10	3,4E-09	51
SU-6		CH	10,00-10,45	2697	0,38	0,43	0,009	0,008	11,0	0,057	6,2E-10	2,1E-09	46
SU-7		CH	11,50-11,45	2688	0,30	0,65	0,003	0,002	7,0	0,030	7,3E-12	4,2E-12	163
SU-8		CH	12,50-12,70	2699	0,27	0,70	0,003	0,002	5,8	0,028	3,9E-12	6,4E-12	225
SU-9		CL	14,00-14,45	2673	0,50	0,32	0,016	0,008	10,8	0,059	7,8E-10	3,4E-09	41
SU-10		CL	15,50-15,95	2788	0,33	0,18	0,073	0,037	17,5	0,130	1,8E-07	1,0E-07	10
SU-13		ML	20,50-20,95	2604	0,50	0,22	0,021	0,020	10,2	0,084	1,4E-08	2,2E-08	18
SU-14		CL	22,10-22,55	2673	0,47	0,24	0,023	0,019	11,0	0,083	1,2E-08	2,3E-08	19
SU-15		CL	22,80-23,00	2653	0,52	0,30	0,018	0,009	10,0	0,060	9,6E-10	1,3E-09	40
SU-17		ML	26,60-27,00	2657	0,59	0,30	0,015	0,007	8,0	0,053	3,4E-10	8,1E-10	56
SU-18		CH	27,00-27,45	2736	0,5	0,34	0,015	0,008	10,5	0,057	6,2E-10	6,1E-10	47
SU-20		CL	30,00-30,45	2712	0,38	0,29	0,023	0,021	14,0	0,091	2,0E-08	1,8E-08	17
SU-21		CL	31,50-31,80	2775	0,44	0,35	0,017	0,009	12,0	0,060	9,6E-10	8,4E-10	41
SU-22		CL	31,80-32,00	2722	0,29	0,41	0,017	0,011	17,5	0,065	1,9E-09	5,1E-10	33
SU-24	PLUSKA	CH	33,30-33,50	2714	0,37	0,53	0,007	0,004	8,0	0,041	5,1E-11	3,2E-11	100
SU-25		CH	35,00-35,50	2724	0,44	0,54	0,005	0,002	6,0	0,030	8,2E-12	1,2E-11	156

Tablica 34 Osnovne granulometrijske veličine, hidraulička vodljivost i vrijednosti specifične površine dobivene iz hidrauličke vodljivosti preko Kozeny – Carmanove jednadžbe za uzorke iz bušotine P11-B4a s lokacije Dobrodol Breg; narančastom bojom su označeni uzorci pliokvartarne starosti, a sivom uzorci gornjomiocenske starosti.

oznaka uzorka	litostr. jedinica	vrsta tla	dubina uzorkovanja (m)	gustoća čvrstih čestica (gcm^{-3})	udio sitnozrnaste frakcije		veličina srednjeg zrna (mm)		stand. dev. vel. čestica σ_g	efektivna poroznost n_e	hidraulička vodljivost – K (m/s)		specifična površina (m^2/g)
					prah	glina	$d_{g\text{-graf}}$	d_{Ing}			Kozeny-Carman	Campbell & Campbell	
DBD-1	ANDRAŠEVEC	MH	3,70-4,00	2664,63	0,66	0,30	0,011	0,0052	5,5	0,048	1,6E-10	1,3E-09	64
DBD-3		ML	7,70-8,00	2702,34	0,72	0,11	0,031	0,0210	6,0	0,091	1,9E-08	1,3E-08	17
DBD-6		ML	12,00-12,30	2592,25	0,78	0,14	0,023	0,0147	5,0	0,075	5,1E-09	8,0E-09	26
DBD-7		ML	14,20-14,50	2569,83	0,78	0,15	0,021	0,0122	5,0	0,070	2,8E-09	6,4E-09	29
DBD-8		MH	16,30-16,60	2648,32	0,59	0,40	0,007	0,0026	5,0	0,035	1,5E-11	4,3E-10	142
DBD-9		MH	20,70-21,00	2609,58	0,80	0,18	0,015	0,0061	4,0	0,051	2,6E-10	2,5E-09	58
DBD-10		ML	23,00-23,45	2589,19	0,82	0,15	0,020	0,0093	4,5	0,060	1,0E-09	4,7E-09	38
DBD-11		ML	26,00-26,45	2561,67	0,81	0,16	0,017	0,0077	4,0	0,056	5,6E-10	3,6E-09	48
DBD-12		MH	29,00-29,30	2614,68	0,82	0,14	0,018	0,0110	4,0	0,065	1,8E-09	4,7E-09	32
DBD-15		MH	34,40-34,70	2641,18	0,80	0,17	0,016	0,0061	4,0	0,051	2,6E-10	3,1E-09	58

5.3. REZULTATI STATISTIČKE ANALIZE PODATAKA

U ovom poglavlju prikazani se rezultati statističkih analiza koje su provedene u svrhu utvrđivanja zavisnosti između minerala glina u uzorcima pliokvartarne i gornjomiocenske starosti (opisanih u poglavlju 5.1.) i fizičkih svojstava (opisanih u poglavlju 5.2.). Analiza statističke zavisnosti provedena je u tri zasebna postupka. U prvom postupku je analizirana razlika u mineralnom sastavu između pliokvartarnih i gornjomiocenskih tala korištenjem t-testa i analize varijance. U drugom postupku je analizirana razlika u fizičkim svojstvima između pliokvartarnih i gornjomiocenskih tala ovisno o mineralnom sastavu pomoću diskriminantne analize. U trećem koraku je analiziran odnos između mineralnog sastava i fizičkih svojstava u svrhu kvantifikacije korelacije, za što su korištene korelacijske matrice.

5.3.1 Atterbergove granice i indeks plastičnosti

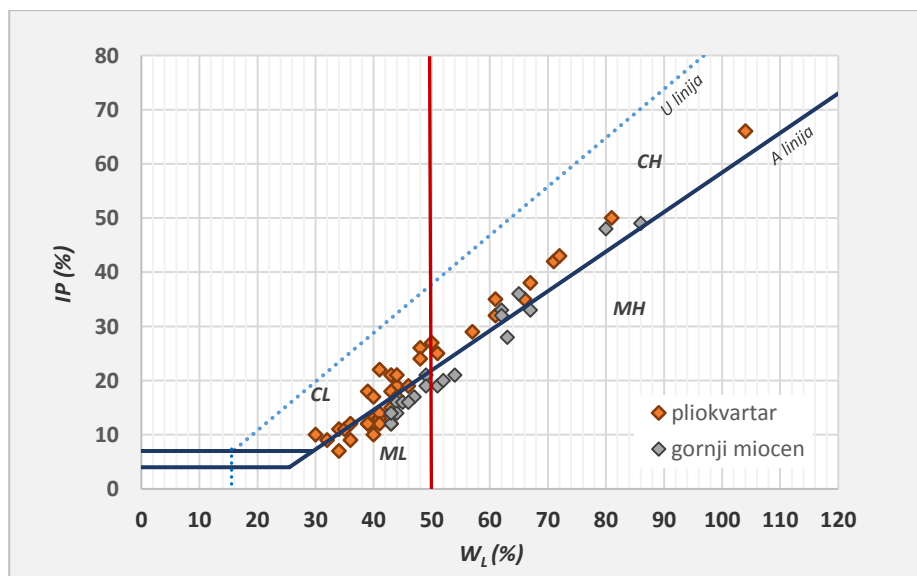
Rezultati ispitivanja Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti sitnozrnastih tala s područja podsljemenske zone prikazani su u tablici 35. Ispitivanje plastičnosti provedeno je prema ASTM-ovu standardu (ASTM D 4318 - 10, 2010). Na temelju podataka o granicama tečenja i indeksu plastičnosti svaki uzorak je klasificiran prema USCS geomehničkoj klasifikaciji (ASTM D 2487 – 06, 2006).

Tablica 35 Rezultati ispitivanja Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti na uzorcima sitnozrnastih tala s područja podsljemenske zone s prikazom geomehničke klasifikacije uzoraka. Žuto su označeni uzorci tala pliokvartarne, a sivo gornjomiocenske starosti; W_L – granica tečenja, W_P – granica plastičnosti, IP – indeks plastičnosti.

lokacija	bušotina	litostr. jedinica	dubina uzorkovanja (m)	oznaka uzorka	W_L (%)	W_P (%)	IP (%)	USCS klasif.	USCS klasif. puni naziv	
ČREŠNJEVEC	P7/8-B1	BISTRA	1,30-1,60	Č-3	40,0	27,0	13,0	ML	pjeskoviti prah sa šljunkom	
			2,60-3,00	Č-5	39,0	27,0	12,0	ML	pjeskoviti prah s šljunkom	
			5,70-6,00	Č-6	36,0	27,0	9,0	ML	pjeskoviti prah s šljunkom	
			7,70-8,00	Č-7	34,0	24,0	11,0	CL	pjeskovita glina	
			10,30-10,60	Č-9	39,0	21,0	18,0	CL	posna glina s pijeskom	
			14,40-14,60	Č-13	50,0	24,0	27,0	CH	masna glina s pijeskom	
			15,00-15,30	Č-14	41,0	20,0	22,0	CL	posna glina s pijeskom	
		PLUSKA	17,50-17,75	Č-18	86,0	38,0	49,0	CH	masna glina	
			20,00-20,30	Č-22	62,0	29,0	33,0	CH	masna glina	
			HUM ZABOČKI	21,10-21,50	Č-23	47,0	30,0	17,0	ML	pjeskoviti prah
				21,70-22,00	Č-24	62,0	30,0	32,0	MH	pjeskoviti elastični prah
				23,50-23,80	Č-27	49,0	29,0	21,0	ML	prah s pijeskom
				26,70-27,00	Č-34	44,0	28,0	16,0	ML	prah
				31,50-31,70	Č-39	45,0	29,0	16,0	ML	prah
34,75-35,00	Č-40	44,0	30,0	14,0	ML	pjeskoviti prah				
KREMATORIJ	P7-B2	BISTRA	0,85-1,00	KR-2	66,0	31,0	35,0	CH	masna glina s pijeskom	
			1,60-1,90	KR-3	64,0	29,0	35,0	CH	masna glina s pijeskom	
			2,70-2,90	KR-4	61,0	29,0	32,0	CH	masna glina	
			7,65-7,90	KR-6	34,0	27,0	7,0	ML	prah s pijeskom	
			10,30-10,50	KR-7	40,0	28,0	12,0	ML	prah s pijeskom	
			11,55-11,85	KR-8	41,0	28,0	13,0	ML	prah s pijeskom	
			16,50-16,80	KR-12	41,0	27,0	13,0	ML	prah s pijeskom	
			19,65-19,90	KR-14	32,0	23,0	9,0	CL	posna glina s pijeskom	

			20,70-20,90	KR-15	43,0	29,0	15,0	ML	pjeskoviti prah			
			24,15-24,50	KR-17	43,0	31,0	12,0	ML	prah			
			25,10-25,50	KR-18	41,0	29,0	12,0	ML	pjeskoviti prah			
			27,70-28,00	KR-20	35,0	24,0	11,0	CL	pjeskovita posna glina			
			28,70-29,00	KR-21	40,0	29,0	10,0	ML	prah			
			31,30-31,50	KR-22	36,0	24,0	12,0	CL	pjeskovita posna glina			
SJEVERNA ULICA	P9-B4	BISTRA	1,50-1,90	SU-1	51,0	26,0	25,0	CH	masna glina			
			3,00-3,45	SU-2	71,0	29,0	42,0	CH	masna glina			
			5,50-5,80	SU-3	48,0	22,0	26,0	CL	posna glina			
			7,00-7,45	SU-4	67,0	28,0	38,0	CH	masna glina			
			8,50-8,80	SU-5	48,0	24,0	24,0	CL	posna glina			
			10,00-10,45	SU-6	61,0	26,0	35,0	CH	masna glina s pijeskom			
			11,50-11,45	SU-7	72,0	29,0	43,0	CH	masna glina			
			12,50-12,70	SU-8	81,0	32,0	50,0	CH	masna glina			
			14,00-14,45	SU-9	44,0	25,0	19,0	CL	posna glina s pijeskom			
			15,50-15,95	SU-10	30,0	20,0	10,0	CL	pjeskovita posna glina			
			20,50-20,95	SU-13	39,0	27,0	12,0	ML	prah s pijeskom			
			22,10-22,55	SU-14	43,0	25,0	18,0	CL	posna glina s pijeskom			
			22,80-23,00	SU-15	46,0	27,0	19,0	CL	posna glina s pijeskom			
			26,60-27,00	SU-17	44,0	27,0	17,0	ML	prah			
			27,00-27,45	SU-18	57,0	29,0	29,0	CH	masna glina s pijeskom			
			30,00-30,45	SU-20	40,0	23,0	17,0	CL	pjeskovita posna glina			
			31,50-31,80	SU-21	43,0	22,0	21,0	CL	posna glina s pijeskom			
			31,80-32,00	SU-22	44,0	22,0	21,0	CL	posna glina s pijeskom			
			PLUSKA	33,30-33,50	SU-24	65,0	28,0	36,0	CH	masna glina		
				35,00-35,50	SU-25	80,0	32,0	48,0	CH	masna glina		
			DOBRODOL BREG	P11-B4a	ANDRAŠEVEC	3,70-4,00	DBD-1	67,0	34,0	33,0	MH	elastični prah
						7,70-8,00	DBD-3	43,0	30,0	14,0	ML	prah s pijeskom
12,00-12,30	DBD-6	43,0				31,0	12,0	ML	prah			
14,20-14,50	DBD-7	43,0				28,0	14,0	ML	prah			
16,30-16,60	DBD-8	63,0				34,0	28,0	MH	elastični prah			
20,70-21,00	DBD-9	51,0				32,0	19,0	MH	elastični prah			
23,00-23,45	DBD-10	46,0				30,0	16,0	ML	prah			
26,00-26,45	DBD-11	49,0				29,0	19,0	ML	prah			
29,00-29,30	DBD-12	52,0				32,0	20,0	MH	elastični prah			
34,40-34,70	DBD-15	54,0				33,0	21,0	MH	elastični prah			

Na slici 43 prikazan je dijagram plastičnosti (ASTM D 2487 – 06, 2006) na temelju kojeg su klasificirani svi analizirani uzorci. Vidljivo je da je najveći broj uzoraka pliokvartarne starosti (jedinica Bistra) klasificiran kao niskoplastične ili posne gline (CL) te visokoplastične ili masne gline (CH). Samo nekoliko uzoraka pripada grupi prahova (ML). Uzorci gornjomiocenske starosti su uglavnom klasificirani kao visokoplastični ili elastični prahovi (MH) te niskoplastični prahovi, dok je samo nekoliko uzoraka klasificirano kao visokoplastične ili masne gline (CH). Unutar svake od navedenih grupa tala izdvojene su i podgrupe na temelju vrste i udjela sporedne frakcije u uzorku, na osnovi čega su modificirani nazivi tala, kao što je prikazano u tablici 36.



Slika 43 Klasifikacija uzoraka sitnozrnastih tala pliokvartarne i gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti na osnovu granica tečenja i indeksa plastičnosti prema USCS klasifikaciji (ASTM D 2487 – 06, 2006)

5.3.2. T-test i analiza varijance

Da bi se utvrdilo postoji li razlika između pliokvartarnih i gornjomiocenskih tala u odnosu na vrste minerale glina i njihovu zastupljenost, kao što je pretpostavljeno u prvoj hipotezi ovog istraživanja, korištena je jednostavna deskriptivna statistika, odnosno t-test i analiza varijance (tablica 37). To su dva jednostavna statistička postupka kojima se utvrđuje podupiru li raspoloživi podaci postavljenu hipotezu i koliko pouzdano. Statističke analize provedene su na dvije skupine statističkih uzorka različitih veličina (39 uzoraka pliokvartarnih tala, oznaka PLQ, i 20 uzoraka gornjomiocenskih uzoraka tla, oznaka GM) na kojima je mjerena jedna varijabla (udio određenog minerala glina, npr. udio vermikulita ili smektita). Udio minerala glina određen je na osnovi analiza mineralnog sastava glinovite frakcije (< 2 μm) postupcima opisanim u poglavlju 4.2.1.2. i 4.2.1.3., a rezultati su dani u poglavlju 5.1.1. T-testom se računa t-vrijednost (t) koja predstavlja omjer razlike dviju aritmetičkih sredina (pr.vr. PLQ – pr.vr. GM) i standardne pogreške razlike aritmetičkih sredina udjela minerala glina. Osim aritmetičke sredine i standardne devijacije, za t-test potrebno je izračunati stupnjeve slobode (df) te odrediti razinu značajnosti (α). Uobičajeno je da se za razinu značajnosti u t-testu uzima $\alpha = 5\%$. Ako se ustanovi da je razlika statistički značajna na razini od 5% ili manjem to se izražava s izrazom $p < 0,05$ što znači da je vjerojatnost pogreške manja od 5%.

Iz tablice 37 koja prikazuje vrijednosti t-testa uočava se da statistički značajnu razliku između dviju aritmetičkih sredina pokazuju kaolinit, vermikulit, klorit i smektit, jer su p vrijednosti manje od 0.05. To znači da se uzorci pliokvartarne i gornjomiocenske starosti

međusobno razlikuju prema udjelima kaolinita (Kln), vermikulita (Vr), klorita (Chl) i smektita (Sm) pri čemu je vjerojatnost pogreške manja od 5%, dok razlika u udjelu tinjčastih minerala (Il/Ms) nije značajna (p je znatno veći od 0.05).

Kao provjera t-testu poslužila je i analiza varijance (ANOVA) kojom se mjerila varijabilnost varijance među uzorcima koji pripadaju različitim grupama (npr. razlika u varijancima između Kln-PLQ i Kln-GM) i varijabilnost među uzorcima unutar pojedine grupe te je promatran njihov međusobni omjer (F-vrijednost). U postupku se prvo računaju aritmetičke sredine svake grupe zasebno, a zatim aritmetička sredina svih grupa zajedno. Na temelju toga se računa zbroj kvadrata odstupanja (SS, *eng. Sum of Squares*) između grupa, unutar grupa i njihov zbroj. Određuju se stupnjevi slobode df_1 (57) i df_2 (1) potrebni za računanje sredine kvadrata – MS (*eng. Mean of Squares*; $MS=SS/df$) i konačno njihov omjer (F-vrijednost). Kao i kod t-testa, potrebno je odrediti razinu značajnosti (α) i izračunati vjerojatnost (p) za koju bi F-vrijednost mogla premašiti empirijsku F-vrijednost. Za razinu značajnosti $\alpha = 5\%$, p mora biti manji od 0,05 kako bi se moglo zaključiti da postoji razlika u varijanci između promatranih grupa. Kao i u t-testu, najznačajniju razliku između varijanci pokazuju vermikulit i klorit te kaolinit i smektit ($p < 0,05$).

Tablica 36 Rezultati T-testa za uzorke gornjomiocenske i pliokvartarne starosti u odnosu na udio minerala glina. Narančastom bojom označena je razina značajnosti pri kojoj test pokazuje pogrešku manju od 5%, sr.vr. – aritmetička sredina (srednja vrijednost skupa podataka), df – stupnjevi slobode, p – razina značajnosti, PIQ-uzorci pliokvartarne starosti, GM – uzorci gornjomiocenske starosti.

t-test							
MINERALI GLINA	sr.vr. PIQ	sr. vr. GM	t-vrijednost	df	p ($\alpha = 5\%$)	broj uzoraka PIQ	broj uzoraka GM
IlMs	4,20	4,61	-0,93	57	0,3579	39	20
Kln	4,18	3,28	2,60	57	0,0117	39	20
Vr	5,21	-6,71	18,05	57	0,0000	39	20
Ch	-7,05	1,39	-13,52	57	0,0000	39	20
Sm	-3,33	0,93	-3,45	57	0,0011	39	20

Tablica 37 Rezultati analize varijance (ANOVA) uzoraka gornjomiocenske i pliokvartarne starosti u odnosu na udio minerala glina. Narančastom bojom označena je razina značajnosti pri kojoj test pokazuje pogrešku manju od 5%. df – stupnjevi slobode, p – razina značajnosti, F – omjer srednjeg kvadrata odstupanja između grupa i unutar grupa, MS – srednji kvadrat, SS – zbroj kvadrata odstupanja.

analiza varijance (ANOVA)								
MINERALI GLINA	SS	df	MS	SS	df	MS	F	p
	između grupa			unutar grupa				
Il/Ms	2,306	1	2,306	153,020	57	2,68457	0,8591	0,357899
Kln	10,538	1	10,538	88,573	57	1,55391	6,7816	0,011724
Vr	1879,455	1	1879,455	328,790	57	5,76825	325,8275	0,000000
Ch	943,035	1	943,035	294,064	57	5,15901	182,7939	0,000000
Sm	239,758	1	239,758	1147,460	57	20,13087	11,9099	0,001058

5.3.2 Rezultati diskriminantne analize

Diskriminantna analiza rađena je u svrhu utvrđivanja razlika u mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima između četiri vrste *á priori* postavljenih grupa tala, na osnovi stratigrafskih i geomehaničkih klasifikacija. Polazište za ovu analizu bila je pretpostavka da se fizička svojstva tala razlikuju ovisno o mineralnom sastavu, a koji je različit ovisno o vrsti tla (prema geomehaničkoj klasifikaciji) i njihovoj stratigrafskoj pripadnosti. Ukupno 59 uzoraka klasificirano je u grupe s obzirom na starost i litostratigrafsku pripadnost, vrstu tla prema geomehaničkoj klasifikaciji kao i kombinaciji navedenih kriterija. Uzorci pliokvartarne starosti svrstani su u jednu litostratigrafsku jedinicu (*Bistra*), dok su miocenski uzorci svrstani u tri litostratigrafske jedinice (*Pluska, Hum Zabočki i Andraševac*). Osim ovih podjela, prema geomehaničkoj klasifikaciji uzorci su klasificirani u četiri grupe: *visokoplastične gline – CH, niskoplastične gline – CL, visokoplastični ili elastični prahovi – MH i niskoplastični prahovi – ML*. Iz navedenih podjela, kombinacijom starosti i vrste tla uzorci su razvrstani u šest grupa: *visokoplastične gline pliokvartarne starosti – PIQ_CH, niskoplastične gline pliokvartarne starosti – PIQ_CL, niskoplastični prahovi pliokvartarne starosti – PIQ_ML, visokoplastične gline gornjomiocenske starosti – M_CH, niskoplastični prahovi gornjomiocenske starosti – M_ML i visokoplastični prahovi gornjomiocenske starosti – M_MH*. Time su oblikovana tri diskriminantna modela: MODEL 1 – kojim su analizirane razlike u fizičkim svojstvima i mineralnom sastavu sitnozrnastih tala poznate stratigrafske i litostratigrafske pripadnosti, MODEL 2 – kojim su analizirane razlike u fizičkim svojstvima i mineralnom sastavu sitnozrnastih vrsta tla prema geomehaničkoj klasifikaciji (neovisno o njihovoj stratigrafskoj pripadnosti) i MODEL 3 – kojim su analizirane razlike u fizičkim svojstvima i mineralnom sastavu sitnozrnastih tala prema geološkoj starosti i geomehaničkoj vrsti tla. Za analizu je ukupno korišteno 19 varijabli:

- udjel svih identificiranih minerala, osim klorita (kvarc, feldspati, getit, kalcit, dolomit, amfiboli, illit/muskovit, kaolinit, vermikulit, smektit);
- Atterbergove granice (WL – granica tečenja, WP – granica plastičnosti), indeks plastičnosti i aktivnost (IP/C – omjer indeksa plastičnosti i udjela glinovite frakcije);
- granulometrijski sastav (udio frakcije pijeska, praha i gline);
- specifična površina tla (SSA);
- kapacitet kationske izmjene (CEC).

Dobivene vrijednosti i rezultati diskriminantne analize prikazani su u tablici 39. Razina opće značajnosti u sva tri modela diskriminacije je visoka ($p < 0,000$) (tablica 38) što znači da se sve grupe međusobno dobro razlikuju.

Tablica 38 Multivarijantni test opće značajnosti diskriminacije. MODEL 1 uzima u obzir stratigrafsku i litostratigrafsku pripadnost sitnozrnastih tala, MODEL 2 uzima u obzir vrstu tla prema geomehaničkoj klasifikaciji, dok MODEL 3 uzima u obzir vrstu tla prema geomehaničkoj klasifikaciji i njegovu stratigrafsku pripadnost.

	Modeli		
	MODEL 1	MODEL 2	MODEL 3
Broj grupa	4	4	6
Broj varijabli	19	19	19
Wilks' lambda	0,0001	0,0181	0,0000
Približni F omjer	50,0775	5,5394	18,9775
Stupnjevi slobode	[57; 111]	[57; 111]	[95; 174]
p razina	$p < 0,000$	$p < 0,000$	$p < 0,000$

Tablica 39 Test značajnosti diskriminantnih funkcija za sva tri modela

DF	Eigen vrijednost	Eigen vrij. (%)	Eigen v. kum.	Kanon. R	Wilks' λ	χ^2	df	p
MODEL 1								
DF1	1272,962	99,52	99,52	0,9996	0,0001	455,31	57	0,0000
DF2	4,658	0,36	99,88	0,9073	0,0712	122,84	36	0,0000
DF3	1,481	0,12	100,00	0,7726	0,4030	42,26	17	0,0006
MODEL 2								
DF1	7,243	65,79	65,79	0,9374	0,0181	186,58	57	0,000
DF2	3,150	28,61	94,40	0,8712	0,1491	88,49	36	0,000
DF3	0,616	5,60	91,70	0,6173	0,6189	22,31	17	0,000
MODEL 3								
DF1	1349,433	99,16	99,16	0,9996	0,0000	537,01	95	0,0000
DF2	7,048	0,52	99,68	0,9358	0,0101	209,03	72	0,0000
DF3	2,592	0,19	99,87	0,8495	0,0814	114,15	51	0,0000
DF4	1,330	0,10	99,97	0,7555	0,2923	55,96	32	0,0055
DF5	0,468	0,03	100,00	0,5648	0,6810	17,48	15	0,2911

DF – diskriminantna funkcija; χ^2 – hi kvadrat test; df – stupnjevi slobode, p – razina značajnosti

U prvom modelu korištene su 4 *a priori* postavljene grupe prema litostratigrafskoj pripadnosti (*Bistra, Pluska, Hum Zabočki i Andraševac*) i izvedene su tri diskriminantne funkcije: DF1, DF2 i DF3. Međutim, usprkos statističkoj značajnosti druge i treće funkcije (DF2 i DF3), diskriminacijski potencijal (geološka važnost) prve diskriminantne funkcije (DF1) neusporedivo je veći (objašnjava 99,52% ukupne varijabilnosti) tako da ih praktički isključuje iz daljnog razmatranja (0,36%, odnosno 0,12% ukupne varijabilnosti). To znači da

druga i treća diskriminantna funkcija vrlo slabo razlikuju promatrana tla s obzirom na fizička svojstva i mineralni sastav.

U drugom modelu korištene su također 4 *á priori* postavljene grupe tla prema geomehantičkoj klasifikaciji (*CH, CL, MH, ML*) te su također izračunate tri diskriminantne funkcije: DF1, DF2 i DF3. Sve tri funkcije imaju $p < 0,000$ što znači da vrlo dobro diskriminiraju postojeće grupe. Diskriminantna funkcija DF1 objašnjava gotovo 66% ukupne varijabilnosti, DF2 29% ukupne varijabilnosti, a DF3 tek 6% ukupne varijabilnosti.

U trećem modelu korišteno je 6 *á priori* postavljenih grupa tla prema stratigrafskoj pripadnosti i geomehantičkoj klasifikaciji (*PLQ_CH, PLQ_CL, PLQ_ML, M_MH, M_CH* i *M_ML*) što znači da ima ukupno pet diskriminantnih funkcija. Kao i u prvom diskriminantnom modelu, neusporedivo najveći diskriminacijski potencijal ima funkcija DF1 koja objašnjava preko 99% ukupne varijabilnosti. Premda je razina značajnosti ($p < 0,000$) sljedeće tri funkcije (DF2, DF3 i DF4) statistički prihvatljiva njihov diskriminantni potencijal je manji od 1% te je zanemariv (objašnjavaju redom 0,52%, 0,19% i 0,10% ukupne varijabilnosti) u odnosu na diskriminacijski potencijal prve diskriminantne funkcije. Peta diskriminantna funkcija DF5, označena u tablici narančastom bojom, je i statistički beznačajna budući da joj je razina značajnosti p veća od 0,05 ($p = 0,2911$) (tablica 40), što uz prethodne tri dopušta da se isključi iz daljnjeg razmatranja. Točnost klasifikacije u sva tri modela prikazana je u tablici 40.

Tablica 40 Klasifikacijske matrice diskriminantnih modela koja uspoređuje ulazni broj uzoraka tla prema predloženim grupama i brojem uzoraka u predloženoj grupi nakon diskriminacije.

MATEMATIČKI (<i>á posteriori</i>) ODREĐENE GRUPE							
MODEL 1							
PREDLOŽENE (<i>á priori</i>) GRUPE	Bistra	Pluska?	Hum Zabočki	Andraševac	Ukupno	Točnost (%)	
Bistra	39	0	0	0	39	100,00	
Pluska?	0	4	0	0	4	100,00	
Hum Zabočki	0	0	6	0	6	100,00	
Andraševac	0	0	0	10	10	100,00	
Ukupno	39	4	6	10	59	100,00	

MATEMATIČKI (<i>á posteriori</i>) ODREĐENE GRUPE							
MODEL 2							
PREDLOŽENE (<i>á priori</i>) GRUPE	ML	CL	CH	MH	Ukupno	Točnost (%)	
ML	20	1	0	2	23	86,96	
CL	1	14	0	0	15	93,33	
CH	0	0	15	0	15	100,00	
MH	0	0	0	6	6	100,00	
Ukupno	21	15	15	8	59	93,22	

		MATEMATIČKI (<i>á posteriori</i>) ODREĐENE GRUPE							
		MODEL 3							
PREDLOŽENE (<i>á priori</i>) GRUPE		PIQ-ML	PIQ-CL	PIQ-CH	M-CH	M-ML	M-MH	Ukupno	Točnost (%)
PIQ-ML		13	0	0	0	0	0	13	100,00
PIQ-CL		0	15	0	0	0	0	15	100,00
PIQ-CH		0	0	11	0	0	0	11	100,00
M-CH		0	0	0	4	0	0	4	100,00
M-ML		0	0	0	0	9	1	10	90,00
M-MH		0	0	0	0	0	6	6	100,00
Ukupno		13	15	11	4	9	7	59	98,31

PLQ-pliokvartar, M-gornji miocen, CL-niskoplastična glina, CH-visokoplastična glina, ML-niskoplastični prah, MH-visokoplastični prah

Iz tablice 40 se vidi da je točnost klasifikacije u prvom modelu diskriminacije (prema starosti i litostratigrafskoj pripadnosti) maksimalna (100 %), tj. *á priori* klasifikacija odgovara *á posteriori* klasifikaciji. U drugom modelu diskriminacije (prema geomehaničkoj vrsti tla) prosječna točnost modela klasifikacije je 93 %. Naime u ovom modelu, od ukupno 59 uzoraka utvrđena su četiri prijelaza iz jedne grupe u drugu. Uzorak Č-7 koji je *á priori* klasificiran kao niskoplastična glina (CL) prešao je u grupu niskoplastičnih prahova (ML), iako je razlika u *p* vrijednosti vrlo mala (veća vrijednost *p* u ovom slučaju ukazuje na veću vjerojatnost pripadnosti određenoj grupi; tablica 41). Vrlo slično, uzorak SU-17 koji je *á priori* klasificiran kao niskoplastični prah (ML), prelazi u grupu niskoplastičnih glina (CL) iako je, kao i kod prethodnog uzorka, razlika u *p* vrijednosti vrlo mala. Nadalje, uzorak DBD-10 i DBD-11 koji su *á priori* klasificirani kao niskoplastični prahovi (ML), prelaze u grupu visokoplastičnih prahova (MH). Vjerojatnost da su ovi uzorci zapravo visokoplastični prahovi je 67 % za uzorak DBD-10 i 80 % za uzorak DBD-11.

Kod trećeg modela diskriminantne analize, u kojem se diskriminacija vrši na temelju kombinacije relativne geološke starosti i vrsti tla prema geomehaničkoj klasifikaciji, uzorak DBD-11 također prelazi iz grupe niskoplastičnih prahova (ML) u grupu elastičnih prahova (MH) (tablica 42). U skladu s navedenim, uzorak DBD-11 je u daljnjoj statističkoj analizi obrađivan kao elastični prah (MH).

Diskriminantnom analizom dokazano je da između analiziranih uzoraka sitnozrnastih tala zaista postoji razlika u mineralnom sastavu i osnovnim fizičkim svojstvima tla s obzirom na pripadnost litostratigrafskim jedinicama i geomehaničkoj vrsti tla. Navedene razlike kao i varijable koje najviše doprinose navedenim razlikama detaljnije su objašnjene i prikazane u poglavlju Rasprava (poglavlje 6.2., slike 54, 55 i 56).

Tablica 41 Aposteriorne vjerojatnosti pripadnosti uzoraka unaprijed definiranim grupama za diskriminaciju s obzirom na vrstu tla prema geomehantičkoj klasifikaciji (diskriminantni MODEL 2). Uzorci koji su prešli iz *á* posteriori grupe u neku drugu označeni su žutom bojom.

MODEL 2											
uzorak	<i>á priori</i> klasifikacija	ML	CL	CH	MH	uzorak	<i>á priori</i> klasifikacija	ML	CL	CH	MH
Č-3	ML	0,998	0,002	0,000	0,000	SU-2	CH	0,000	0,000	1,000	0,000
Č-5	ML	0,998	0,002	0,000	0,000	SU-3	CL	0,000	0,966	0,034	0,000
Č-6	ML	1,000	0,000	0,000	0,000	SU-4	CH	0,000	0,000	1,000	0,000
Č-7	CL	0,532	0,468	0,000	0,000	SU-5	CL	0,001	0,999	0,000	0,000
Č-9	CL	0,000	1,000	0,000	0,000	SU-6	CH	0,000	0,001	0,999	0,000
Č-13	CH	0,000	0,001	0,999	0,000	SU-7	CH	0,000	0,000	1,000	0,000
Č-14	CL	0,000	1,000	0,000	0,000	SU-8	CH	0,000	0,000	1,000	0,000
Č-18	CH	0,000	0,000	1,000	0,000	SU-9	CL	0,014	0,986	0,000	0,000
Č-22	CH	0,000	0,000	1,000	0,000	SU-10	CL	0,000	1,000	0,000	0,000
Č-23	ML	0,991	0,000	0,000	0,009	SU-13	ML	0,933	0,067	0,000	0,000
Č-24	MH	0,000	0,000	0,000	1,000	SU-14	CL	0,004	0,996	0,000	0,000
Č-27	ML	1,000	0,000	0,000	0,000	SU-15	CL	0,087	0,913	0,000	0,000
Č-34	ML	0,997	0,003	0,000	0,000	SU-17	ML	0,495	0,505	0,000	0,000
Č-39	ML	0,998	0,000	0,000	0,002	SU-18	CH	0,000	0,006	0,994	0,000
Č-40	ML	1,000	0,000	0,000	0,000	SU-20	CL	0,000	1,000	0,000	0,000
KR-2	CH	0,000	0,000	1,000	0,000	SU-21	CL	0,000	1,000	0,000	0,000
KR-3	CH	0,000	0,000	1,000	0,000	SU-22	CL	0,000	1,000	0,000	0,000
KR-4	CH	0,000	0,000	1,000	0,000	SU-24	CH	0,000	0,002	0,998	0,000
KR-6	ML	1,000	0,000	0,000	0,000	SU-25	CH	0,000	0,000	1,000	0,000
KR-7	ML	0,998	0,002	0,000	0,000	DBD-1	MH	0,038	0,000	0,000	0,962
KR-8	ML	0,999	0,001	0,000	0,000	DBD-3	ML	1,000	0,000	0,000	0,000
KR-12	ML	0,967	0,033	0,000	0,000	DBD-6	ML	0,999	0,000	0,000	0,001
KR-14	CL	0,141	0,859	0,000	0,000	DBD-7	ML	0,983	0,000	0,000	0,017
KR-15	ML	0,922	0,078	0,000	0,000	DBD-8	MH	0,000	0,000	0,000	1,000
KR-17	ML	1,000	0,000	0,000	0,000	DBD-9	MH	0,002	0,000	0,000	0,998
KR-18	ML	0,997	0,003	0,000	0,000	DBD-10	ML	0,334	0,000	0,000	0,666
KR-20	CL	0,033	0,967	0,000	0,000	DBD-11	ML	0,204	0,000	0,000	0,796
KR-21	ML	1,000	0,000	0,000	0,000	DBD-12	MH	0,024	0,000	0,000	0,976
KR-22	CL	0,013	0,987	0,000	0,000	DBD-15	MH	0,007	0,000	0,000	0,993
SU-1	CH	0,001	0,148	0,851	0,000						

5.3.3 Rezultati korelacijske analize

Korelacijska analiza provedena je u svrhu korelacije mineralnog sastava tala i fizičkih svojstava, pri čemu su korištene korelacijske matrice. Polazište za ovu analizu bila je pretpostavka da su fizička svojstva tala zavisna o mineralnom sastavu tla, točnije o količini glinovite frakcije i udjelu minerala glina, a koji je različit za analizirana tla ovisno o njihovoj stratigrafskoj i geomehaničkoj pripadnosti. Korelacijske matrice rađene su za uzorke razvrstane u grupe prema geomehaničkoj vrsti tla i realivnoj geološkoj starosti čime je dobiveno šest grupa. U nastavku su prikazane korelacijske matrice za grupe sitnozrnastih tala pliokvartarne i gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti (tablice 44, 45, 46, 47, 48 i 49). U prvom stupcu su navedene nezavisne varijable, dok su u prvom retku prikazane zavisne varijable, pri čemu su specifična površina (SSA) i kapacitet kationske izmjene (CEC) jedine dvije varijable koje su promatrane i kao nezavisne i kao zavisne. Naime, kao što je objašnjeno u uvodu ove disertacije, SSA i CEC su fizikalno-kemijska svojstva tla koja ovise o granulometrijskom i mineralnom sastavu tla te ih se tada može promatrati kao zavisne varijable, no kao takvi mogu utjecati na ostala fizička svojstva (granica tečenja, granica plastičnosti, indeks plastičnosti) te ih se tada može promatrati kao nezavisne varijable ili varijable prediktori. Osim minerala glina, s fizičkim svojstvima inženjerskih tala korelirani su i udjeli ostalih minerala koji su sastavni dio uzorka, točnije, sastavni dio glinovite frakcije. Uz minerale glina, s fizičkim svojstvima tla su korelirani maseni udio frakcije gline (C), praha (M) i pijeska (S).

Narančastom bojom označeni su koeficijenti korelacije koji predstavljaju srednje jaku ili jaku korelaciju između varijabli bez obzira na statističku značajnost. Budući da statistička značajnost korelacije ovisi o cijelom nizu faktora kao što su broj uzoraka, linearnost korelacije i slično (Murtaugh, 2014; Stanton Geddes i dr., 2014), u ovom istraživanju nisu ispunjeni svi navedeni uvjeti. Jedan od glavnih faktora koji umanjuje statističku značajnost korelacije u ovom istraživanju je broj uzoraka, zbog čega nisu sve korelacije statistički značajne (nemaju $p < 0,05$). Međutim, ove korelacije ipak imaju određen značaj, ali bi točnost dobivenih korelacija trebalo dodatno provjeriti na većem broju uzoraka. Dodatna otežavajuća stvar kod korelacija je ta što uzorci unutar promatranih vrsta sitnozrnastih tala ne sadrže iste mineralne vrste, tj. uzorci nisu homogeni s obzirom na sastav, što također utječe na koeficijent korelacije i njegovu značajnost. Primjerice, od ukupno 11 uzoraka visokoplastičnih glina pliokvartarne starosti smektit je utvrđen u samo dva uzorka zbog čega se njegova korelacija s ostalim svojstvima može zanemariti, odnosno nije statistički značajna, ali zbog premalog broja uzorka

nema ni geološku važnosti. Korelacija glinovite frakcije sa specifičnom površinom je također vrlo dobra, ali nema geološku važnost jer je izračunata na temelju udjela sitnozrnaste frakcije (prah + glina), te se u ovom slučaju, kao i u ostalim korelacijskim tablicama mora ignorirati. U skladu s navedenim, vrlo jaka korelacija između glinovite frakcije i SSA je očekivana, ali nema geološku važnost u ovom istraživanju.

5.3.3.1 Sitnozrnasta tla pliokvartarne starosti

U tablici 43 prikazani su koeficijenti korelacije dobiveni korelacijskom analizom mineralnog sastava frakcije < 2 μ m (minerala glina) i fizičkih svojstava jedanaest uzoraka visokoplastičnih glina pliokvartarne starosti (CH-PLQ), odnosno glina koje pripadaju litostratigrafskoj jedinici Bistra. Iz tablice je vidljivo da vrlo jaku korelaciju s granicom tečenja, indeksom plastičnosti i specifičnom površinom pokazuje kaolinit, dok se vermikulit dobro korelira s granicom plastičnosti i kapacitetom kationske izmjene. S granicom plastičnosti i s CEC-om vermikulit ostvaruje vrlo slabu ili nikakvu korelaciju. Budući da je smektit identificiran u samo 2 uzorka i da je njegov udjel u uzorku u odnosu na ostale minerale vrlo mali, on pokazuje vrlo slabu ili gotovo nikakvu korelaciju s fizičkim svojstvima. Zanimljivo je da uz minerale glina, srednje jaku korelaciju s fizičkim svojstvima pokazuje i getit. Kapacitet kationske izmjene pokazuje vrlo jaku korelaciju jedino s granicom plastičnosti, dok s ostalim parametrima fizičkih svojstava pokazuje slabu ili nikakvu korelaciju. Specifična površina pokazuje vrlo jaku korelaciju s granicom tečenja i indeksom plastičnosti. Srednje jaku i pozitivnu korelaciju s granicom plastičnosti i indeksom plastičnosti pokazuje i udjel glinovite frakcije.

Tablica 43 Korelacijska matrica za visokoplastične gline pliokvartarne starosti na osnovi 11 analiziranih uzoraka

	WP	WL	IP	SSA	CEC
S	-0,41	-0,68	-0,71	-0,79	-0,21
M	-0,16	-0,54	-0,64	0,69	0,12
C	0,29	0,69	0,77	0,94	0,06
SSA	0,46	0,72	0,78	1,00	0,19
CEC	0,76	0,46	0,33	0,19	1,00
Qtz	-0,78	-0,39	-0,23	0,09	-0,83
Gt	0,69	0,74	0,70	0,58	0,32
Fs	0,16	-0,19	-0,33	-0,65	0,35
Il/Ms	-0,11	0,17	0,26	0,38	0,04
Kln	0,40	0,75	0,80	0,79	0,09
Vr	0,55	0,03	-0,13	-0,33	0,56
Sm	-0,01	-0,27	-0,29	-0,23	0,30

WP-granica plastičnosti, WL-granica tečenja, IP-indeks plastičnosti, SSA-specifična površina, CEC-kapacitet kationske izmjene, S-udjel frakcije pijeska, M-udjel frakcije praha, C-udjel glinovite frakcije, Qtz-kvarc, Gt-getit, Fs-feldspati, il/Ms-tinjci, Kln-kaolinit, Vr-vermikulit, Sm-smektit.

Tablica 44 prikazuje koeficijente korelacije za analizirana fizička svojstva i mineralni sastav niskoplastičnih glina pliokvartarne starosti (CL-PLQ). Prema koeficijentima korelacije može se vidjeti da su granica tečenja i indeks plastičnosti vrlo jako korelirani s granulometrijskim sastavom. Udio glinovite frakcije pokazuje vrlo jaku pozitivnu korelaciju, a udio pijeska pokazuje vrlo jaku negativnu korelaciju s granicom tečenja i granicom plastičnosti. Smektit, koji je prisutan u 6 od ukupno 15 uzoraka niskoplastičnih glina, pokazuje srednje jaku korelaciju s granicom plastičnosti te kapacitetom kationske izmjene, dok s granicom tečenja i indeksom plastičnosti pokazuje vrlo slabu, odnosno nikakvu korelaciju. Nadalje, pozitivnu i srednje jaku korelaciju s granicom tečenja i indeksom plastičnosti ima i kaolinit. Za razliku od smektita i kaolinita, vermikulit pokazuje srednje jaku i negativnu korelaciju s granicom tečenja i indeksom plastičnosti te relativno slabu pozitivnu korelaciju s kationskom izmjenom. Zanimljivo je i da kvarc, koji je zajedno s mineralima glina jedan od glavnih sastojaka frakcije manje od 2 μ , pokazuje relativno jaku korelaciju s indeksom plastičnosti i specifičnom površinom te nešto slabiju korelaciju s granicom tečenja. Nasuprot kvarcu, feldspati pokazuju relativno jaku, ali negativnu korelaciju sa specifičnom površinom te relativno jaku korelaciju s kapacitetom kationske izmjene.

Tablica 44 Korelacijska matrica za analizirane niskoplastične gline pliokvartarne stratigrafske pripadnosti

	WP	WL	IP	SSA	CEC
S	-0,37	-0,78	-0,70	-0,42	-0,21
M	0,49	0,20	0,05	0,00	0,57
C	-0,21	0,78	0,88	0,68	-0,46
SSA	-0,32	0,48	0,66	1,00	-0,39
CEC	0,48	-0,10	-0,27	-0,39	1,00
Qtz	-0,34	0,48	0,62	0,59	-0,75
Gt	0,35	-0,16	-0,32	-0,50	0,28
Fs	0,36	-0,43	-0,58	-0,51	0,69
Il/Ms	0,26	0,16	0,09	-0,10	0,09
Kln	-0,26	0,48	0,57	0,28	-0,49
Vr	0,03	-0,65	-0,67	-0,43	0,47
Sm	0,54	0,22	0,03	-0,13	0,64

WP-granica plastičnosti, WL-granica tečenja, IP-indeks plastičnosti, SSA-specifična površina, CEC-kapacitet kationske izmjene, S-udjel frakcije pijeska, M-udjel frakcije praha, C-udjel glinovite frakcije, Qtz-kvarc, Gt-getit, Fs-feldspati, Il/Ms-tinjci, Vr-vermikulit, Sm-smektit, Kln-kaolinit

Tablica 45 prikazuje koeficijente korelacije među ispitanim svojstvima za uzorke niskoplastičnih prahova (ML-PLQ). Korelacija je rađena na ukupno 13 uzoraka niskoplastičnih prahova. Kao i kod niskoplastičnih glina, vermikulit pokazuje relativno jaku negativnu korelaciju s granicom tečenja i indeksom plastičnosti kao i sa specifičnom površinom. Osim vermikulita, relativno jaku pozitivnu korelaciju s granicom tečenja, granicom plastičnosti te sa specifičnom površinom i kapacitetom kationske izmjene pokazuje smektit. Navedene korelacije između smektita i fizičkih svojstava tala dobivene su na samo 6

uzoraka. Od ostalih minerala glina jedino illit/muskovit pokazuje relativno jaku korelaciju samo sa specifičnom površinom dok s ostalim fizičkim svojstvima ne pokazuje nikakvu povezanost. Kao i tinjčasti minerali (illit/muskovit), kaolinit također ne pokazuje gotovo nikakvu korelaciju s fizičkim svojstvima. Osim određenih minerala glina s granicom tečenja i granicom plastičnosti relativno jaku i pozitivnu korelaciju ostvaruje i glinovita komponenta. Osim navedenog, s granicom tečenja srednje jaku i pozitivnu korelaciju ostvaruje specifična površina, a s granicom plastičnosti kapacitet kationske izmjene.

Tablica 45 Korelacijska matrica za analizirane niskoplastične prahove pliokvartarne stratigrafske pripadnosti

	WP	WL	IP	SSA	CEC
S	-0,22	-0,26	-0,05	-0,85	-0,03
M	0,13	0,05	-0,10	0,71	-0,08
C	0,53	0,67	0,41	0,92	0,12
SSA	0,48	0,50	0,23	1,00	0,22
CEC	0,59	0,32	0,04	0,22	1,00
Qtz	-0,02	0,47	0,52	0,45	-0,44
Gt	0,05	-0,38	-0,37	-0,33	-0,26
Fs	0,44	0,14	-0,05	-0,25	0,56
Am	-0,44	-0,53	-0,35	-0,58	-0,05
Il/Ms	-0,07	0,07	0,07	0,60	-0,27
Kln	-0,29	-0,18	-0,09	-0,15	0,00
Vr	-0,34	-0,61	-0,51	-0,59	0,03
Sm	0,75	0,62	0,34	0,48	0,57

WP-granica plastičnosti, WL-granica tečenja, IP-indeks plastičnosti, SSA-specifična površina, CEC-kapacitet kationske izmjene, S-udjel frakcije pijeska, M-udjel frakcije praha, C-udjel glinovite frakcije, Qtz-kvarc, Gt-getit, Fs-feldspati, il/Ms-tinji, Kln-kaolinit, Vr-vermikulit, Sm-smektit.

5.3.3.2 Sitnozrnasta tla gornjomiocenske starosti

Unutar gornjeg miocena mogu se razlikovati tri geomehaničke vrste sitnozrnastih tala: visokoplastične gline (CH), visokoplastični ili elastični prahovi (MH) te niskoplastični prahovi (ML). Budući da su gline najmanje zastupljene, analizirana su samo četiri uzorka zbog čega su dobivene korelacije vrlo diskutabilne, što se osobito odnosi na korelacije vezane za ekspanzibilne minerale glina. Ipak zbog specifičnih uvjeta u kojima su te gline nastale, kao i specifičnog mineralnog sastava te njihovu relativno malu zastupljenost u podsljemenskoj zoni, navedene korelacije ipak imaju određenu geološku važnost, odnosno dobiveni podaci o korelacijama mogu poslužiti kao ulazni parametri za neka buduća istraživanja. Iz korelacijske matrice (tablica 46) je jasno vidljivo da najjaču pozitivnu korelaciju s Atterbergovim granicama ima udjel glinovite frakcije. Suprotno tome, frakcija praha i frakcija pijeska pokazuju srednje jaku do vrlo jaku negativnu korelaciju s Atterbergovim granicama i kapacitetom kationske izmjene. Promatrajući minerale glina, vermikulit koji je zastupljen u samo dva uzorka visokoplastičnih glina i to s vrlo malom koncentracijom, pokazuje pozitivnu

korelaciju s kapacitetom kationske izmjene, odnosno s granicom plastičnosti. Naravno, ovakva korelacija vrlo je diskutabilna budući da se radi samo o dva uzorka. Uz vermikulit, u svim uzorcima je prisutan kaolinit koji pokazuje jaku negativnu korelaciju s granicom plastičnosti i kapacitetom kationske izmjene, odnosno srednje jaku pozitivnu korelaciju sa specifičnom površinom. Osim vermikulita i kaolinita od minerala glina u uzorcima crvenih visokoplastičnih glina dominantni su i tinjčasti minerali tj. illit/muskovit koji kao i kaolinit pokazuju jaku negativnu korelaciju s kapacitetom kationske izmjene te srednje jaku negativnu korelaciju s granicom plastičnosti.

Tablica 46 Korelacijska matrica za analizirane visokoplastične gline gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti (crvene gline)

	WP	WL	IP	SSA	CEC
S	-0,47	-0,78	-0,87	-0,97	-0,12
M	-0,82	-0,63	-0,51	0,06	-0,97
C	0,90	0,85	0,78	0,32	0,89
SSA	0,28	0,64	0,76	1,00	-0,10
CEC	0,89	0,67	0,54	-0,10	1,00
Qtz	0,41	0,02	-0,13	-0,73	0,63
Gt	-0,77	-0,46	-0,32	0,36	-0,86
Fs	0,58	0,40	0,33	-0,14	0,43
Il/Ms	-0,51	-0,23	-0,08	0,42	-0,83
Kln	-0,65	-0,30	-0,15	0,52	-0,81
Vr	0,56	0,42	0,31	-0,07	0,79

WP-granica plastičnosti, WL-granica tečenja, IP-indeks plastičnosti, SSA-specifična površina, CEC-kapacitet kationske izmjene, S-udjel frakcije pijeska, M-udjel frakcije praha, C-udjel glinovite frakcije, Qtz-kvarc, Gt-getit, Fs-feldspati, il/Ms-tinjci, Kln-kaolinit, Vr-vermikulit

Kao i kod visokoplastičnih glina, udio glinovite frakcije u uzorcima visokoplastičnih prahova (tablica 47) ima vrlo jaku korelaciju s granicom tečenja i s indeksom plastičnosti, dok s granicom plastičnosti pokazuje vrlo slabu korelaciju. Udjel glinovite frakcije ostvaruje relativno jaku korelaciju i s kapacitetom kationske izmjene, što bi moglo značiti da je većina izmjene kationa vezana za najsitniju frakciju. Kao posljedica toga, kapacitet kationske izmjene je vrlo dobro koreliran i s granicom tečenja i s indeksom plastičnosti. Interesantno je da relativno jaku korelaciju s granicom tečenja, indeksom plastičnosti i kapacitetom kationske izmjene ostvaruje udio feldspata, a isto tako i udio kaolinita u uzorku. Za razliku od kaolinita i feldspata, klorit i smektit ne pokazuju izravnu povezanost s granicom tečenja ili indeksom plastičnosti. Naime, klorit pokazuje vrlo jaku korelaciju s granicom plastičnosti te relativno jaku korelaciju sa specifičnom površinom, dok smektit pokazuje vrlo jaku pozitivnu korelaciju isključivo s kapacitetom kationske izmjene, a s ostalim parametrima pokazuje relativno slabu korelaciju.

Tablica 47 Korelacijska matrica za analizirane visokoplastične prahove gornjomiocenske starosti

	WP	WL	IP	SSA	CEC
S	-0,47	0,13	0,33	-0,47	0,57
M	-0,30	-0,87	-0,91	-0,73	-0,81
C	0,40	0,87	0,86	0,84	0,71
SSA	0,53	0,62	0,52	1,00	0,31
CEC	0,14	0,75	0,84	0,31	1,00
Qtz	-0,20	0,14	0,22	0,34	0,45
Gt	-0,37	0,35	0,53	0,05	0,81
Fs	-0,11	0,67	0,81	0,17	0,83
Ca	0,38	-0,27	-0,44	0,40	-0,53
Do	0,13	-0,34	-0,43	-0,32	-0,70
Il/Ms	-0,35	-0,26	-0,19	-0,69	-0,22
Kln	0,34	0,69	0,72	0,01	0,75
Ch	0,57	0,12	-0,05	0,55	-0,38
Sm	-0,31	0,37	0,54	-0,02	0,87

WP-granica plastičnosti, WL-granica tečenja, IP-indeks plastičnosti, SSA-specifična površina, CEC-kapacitet kationske izmjene, S-udio frakcije pijeska, M-udio frakcije praha, C-udio glinovite frakcije, Qtz-kvarc, Gt-getit, Fs-feldspati, Ca-kalcit, Do-dolomit, Il/Ms-tinjci, Kln-kaolinit, Ch-klorit, Sm-smektit.

Prema rezultatima korelacijske analize fizičkih svojstava i mineralnog sastava za uzorke niskoplastičnih prahova prikazanih u tablici 48 vidljivo je da plastičnost ove vrste sitnozrnastih tala, odnosno indeks plastičnosti i granica tečenja ovise o udjelu glinovite frakcije. Minerali koji pokazuju relativno jaku pozitivnu korelaciju s granicom tečenja i indeksom plastičnosti su tinjčasti minerali, kaolinit i getit, dok vrlo jaku negativnu korelaciju s navedenim parametrima pokazuju karbonatni minerali, odnosno kalcit i dolomit. Kao i kod visokoplastičnih prahova, klorit i smektit ne pokazuju izravnu korelaciju s Atterbergovim granicama i indeksom plastičnosti, već klorit pokazuje srednje jaku korelaciju sa specifičnom površinom, a smektit pokazuje vrlo jaku korelaciju s kapacitetom kationske izmjene. Osim smektita, s kapacitetom kationske izmjene je vrlo dobro koreliran i udjel tinjčastih minerala.

Tablica 48 Korelacijska matrica za analizirane niskoplastične prahove gornjomiocenske starosti

	WP	WL	IP	SSA	CEC
S	0,38	0,45	0,25	-0,85	0,07
M	-0,32	-0,54	-0,34	0,77	-0,11
C	-0,12	0,75	0,66	-0,04	0,28
SSA	-0,49	-0,26	-0,11	1,00	-0,04
CEC	-0,27	0,59	0,69	-0,04	1,00
Qtz	0,27	0,59	0,39	-0,51	-0,06
Gt	-0,09	0,69	0,62	-0,27	-0,02
Fs	0,27	0,04	0,07	0,43	0,27
Ca	-0,25	-0,79	-0,66	0,28	-0,36
Do	-0,10	-0,89	-0,75	0,41	-0,45
Il/Ms	-0,11	0,54	0,48	-0,06	0,64
Kln	0,07	0,65	0,63	-0,52	0,14
Ch	-0,29	-0,35	-0,14	0,58	0,39
Sm	-0,24	0,38	0,45	0,13	0,83

WP-granica plastičnosti, WL-granica tečenja, IP-indeks plastičnosti, SSA-specifična površina, CEC-kapacitet kationske izmjene, S-udjel frakcije pijeska, M-udjel frakcije praha, C-udjel glinovite frakcije, Qtz-kvarc, Gt-getit, Fs-feldspati, Ca-kalcit, Do-dolomit, Il/Ms-tinjci, Kln-kaolinit, Ch-klorit, Sm-smektit.

Svrha ovog istraživanja bila je utvrditi postoji li razlika između pliokvartarnih i gornjomiocenskih naslaga s obzirom na mineralni sastav cjelovitih uzoraka sitnozrnastih tala i uzoraka glinovite frakcije i s obzirom na osnovna fizička svojstva te utječe li mineralni sastav i kako na ta fizička svojstva. Ovako definirana svrha rada proizašla je iz prethodnih mineraloških analiza koje su provedene na istim vrstama sedimenata na području podsljemenske zone (Miklin i dr., 2007), a čiji rezultati su korišteni za preliminarne analize.

Ova rasprava je podijeljena u tri cjeline. U prvoj cjelini predmet rasprave je mineralni sastav sitnozrnastih tala s naglaskom na vrstu i udjel minerala glina u tlima različite starosti, ali i geomehaničke vrste tala i njihova fizička svojstva. U drugoj cjelini raspravlja se o rezultatima diskriminantnih analiza na temelju kojih su utvrđene razlike između sitnozrnastih tala ovisno o mineralnom sastavu i fizičkim svojstavima. U trećoj cjelini raspravlja se o statističkim modelima kojima je moguće opisati utjecaj minerala glina, kao i drugih minerala na fizička svojstva tla primjenom korelacijskih analiza.

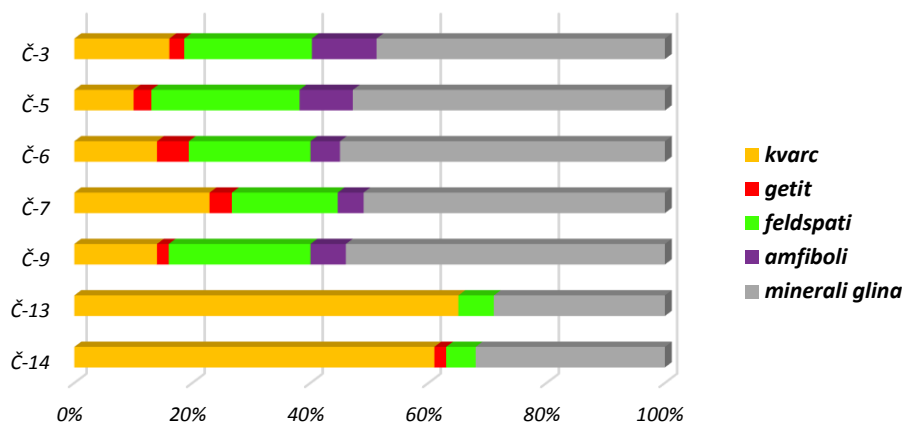
6.1. MINERALNI SASTAV, VRSTE I FIZIČKA SVOJSTVA SITNOZRNASTIH TALA PODSLJEMENSKE ZONE

6.1.1. Mineralni sastav

Prema prvoj hipotezi ovog istraživanja, relativna zastupljenost pojedinih vrsta minerala glina u sitnozrnastim tlima pliokvartarne i gornjomiocenske starosti podsljemenske zone je različita. U pliokvartarnim tlima glavne mineralne vrste su kvarc, feldspati i minerali

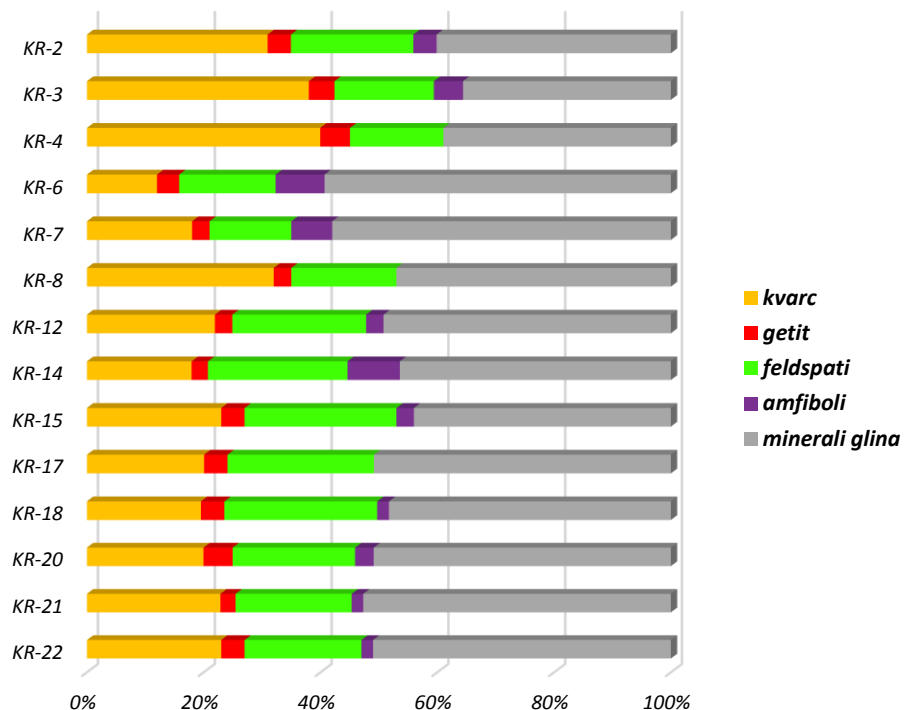
glina (filosilikati), dok se kao sporedne mineralne vrste javljaju amfiboli i getit. Odnos masenih udjela pojedinih minerala u cjelovitim uzorcima s obzirom na lokaciju uzorkovanja može se vidjeti na slikama 44, 45 i 46. Budući da je u ovom istraživanju na minerale glina stavljen poseban naglasak, oni su detaljnije opisani i obrađeni u sljedećem poglavlju (poglavlje 6.1.2.).

**Črešnjevec
P7/8-B1**



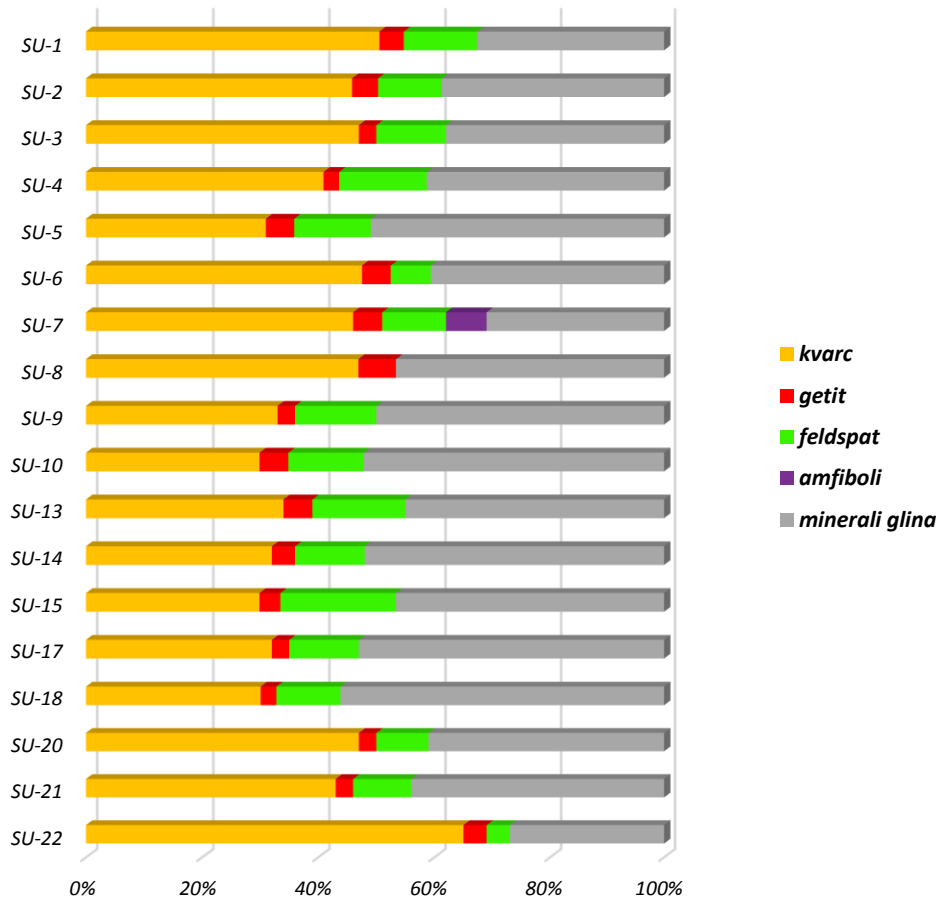
Slika 44 Maseni udio mineralnih vrsta u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti s lokacije Črešnjevec (bušotina P7/8-B1)

**Krematorij
P7-B2**



Slika 45 Maseni udio mineralnih vrsta u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti s lokacije Krematorij (bušotina P7-B2)

**Sjeverna ulica
P9-B4**



Slika 46 Maseni udio mineralnih vrsta u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti s lokacije Sjeverna ulica (bušotina P9-B4)

Kvarc je prisutan u svim analiziranim uzorcima. Vrlo je otporan na kemijsko i mehaničko trošenje te je kao takav prisutan u uzorcima kao detritični ostatak ishodišnog materijala. Ovisno o primarnim uvjetima kristalizacije i vremenu izloženosti mehaničkom trošenju, kristali kvarca mogu biti prisutni u svim frakcijama tla. Njegov maseni udio u svim pliokvartarnim uzorcima varira od 10 do 65%.

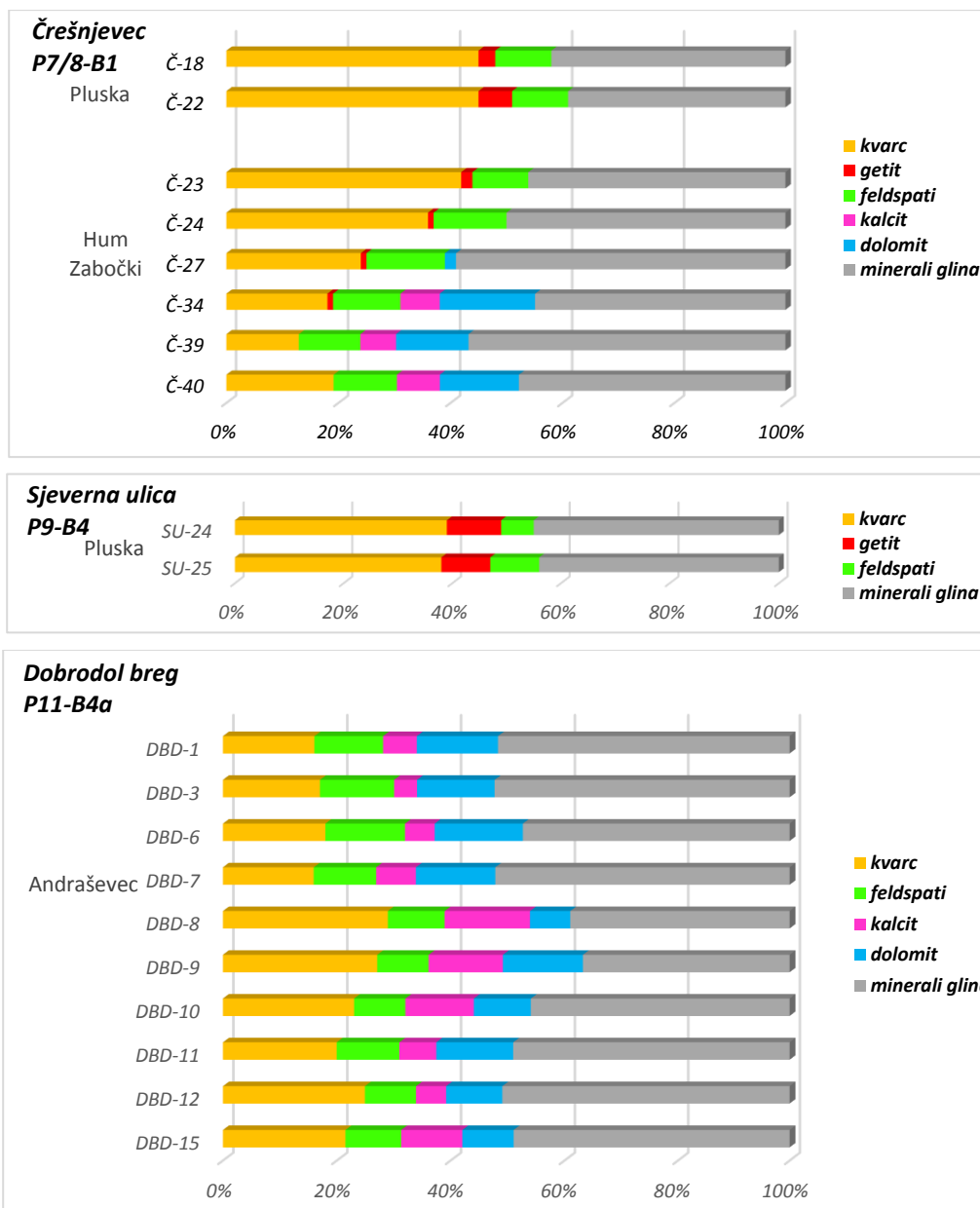
Uz kvarc, kao detritični ostatak matičnih stijena javljaju se i *feldspati*. Njihov maseni udjel varira od 4 do 26%. Feldspati su vrlo rašireni minerali te su primarno sastavni dio magmatskih i metamorfnih stijena u kristalinskom dijelu Medvednice. Vrlo su podložni mehaničkom, kao i kemijskom trošenju, a najpoznatiji vid trošenja je kaolinitizacija - proces u kojem trošenjem feldspata nastaje kaolinit.

Već na terenu, pri determinaciji jezgre i uzorkovanju, karakteristična žutosmeđa do crvenosmeđa boja uzoraka upućivala je na moguću prisutnost željezovitih minerala. Naime, Fe-oksidi i hidroksidi su vrlo jaki pigmenti u tlu i stijenama. Već pri vrlo malim koncentracijama mogu tlo bojati u različite tonove crvene, žute, narančaste ili smeđe boje. Mineraloškom analizom utvrdilo se da karakterističnu boju tlu daje željezni oksid *getit* s

masenim udjelom između 3 i 7%. Željezni oksidi u tlu (sedimentima) mogu biti naslijeđeni iz primarnog izvora, ali u tlima podsljemenske zone su vrlo vjerojatno prisutni kao produkt oksidacije dvovalentnog (Fe^{2+}) (sastavni dio strukturne formule piroksena, amfibola, tinjaca, pirita) u trovalentno željezo (Fe^{3+}), najčešće tijekom procesa pedogeneze (Durn, 1996). O pedogenetskim promjenama glinovito-prahovitih kvartarnih naslaga na temelju proučavanja litostratigrafskog profila Grmošćice (zapadni dio podsljemenske zone) pisali su Bognar & Klein (1976) te ih opisuju kao rastrošeno i raspucano fosilno tlo.

Amfiboli su vrlo rasprostranjeni petrogeni minerali te su primarno sastavni dio različitih magmatskih i metamornih stijena (Slovenec & Bermanec, 2003). U pliokvartarnim sedimentima Medvednice vrlo vjerojatno su prisutni kao detritični ostatak ishodišnog materijala iz zaleđa Medvednice izgrađeno od metamornih stijena različitog stupnja metamorfoze u čijem sastavu su prisutni i amfiboli (Slovenec & Lugović, 2000). Njihov maseni udio varira od 0 – 11% pri čemu se smanjuje idući od lokacija u višim predjelima podsljemenske zone (Črešnjevec, Krematorij) prema nižim predjelima (Sjeverna ulica) (slike 44, 45 i 46). Razlog za to može biti udaljenost od izvora trošenja te način i intenzitet donosa materijala.

U sitnozrnastim tlima gornjomiocenske starosti utvrđeno je da su u uzorcima kao glavni minerali prisutni kvarc i minerali glina, dok su u manjoj mjeri prisutni feldspati, kalcit i dolomit te getit (slika 47). Među njima ističu se sitnozrnasta tla jedinice Pluska koja se odlikuju izrazito karakterističnom crvenom bojom. Ovakvu boju vjerojatno uvjetuje prisutnost vrlo malog udjela hematita, kojeg nije bilo moguće identificirati, a koji zbog svojeg jakog pigmentirajućeg svojstva prekriva boju dominantnijeg getita.



Slika 47 Maseni udio mineralnih vrsta u sitnozrnastim tlima gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti s lokacija Črešnjevce (P7/8-B1), Sjeverna Ulica (P9-B4) i Dobrodol breg (P11-B4a)

Prema poznatim stratigrafskim podacima s lokacije Črešnjevce kao i litološkim obilježjima, odnosno granulometrijskom sastavu uzoraka, sitnozrnasta tla iz intervala 21–35m svrstana su u litostratigrafsku jedinicu Hum Zabočki. Prema granulometrijskom sastavu to su uglavnom pjeskovito-glinoviti prahovi (poglavlje 5.2.1., slika 37). Kovačić (2004) navodi da su se prahovi jedinice Hum Zabočki najvjerojatnije istaložili iz suspenzije sitnozrnastog materijala, donesenog u jezersku vodu brakičnog karaktera, površinskim ili unutarnjim tokovima, u distalnim (na dubinama ne većim od 50 m) ili u bočnim predjelima delte. Prema geomehaničkoj klasifikaciji to su niskoplastični prahovi (ML) (samo je jedan uzorak klasificiran kao elastični prah – MH) (poglavlje 5.2.2., tablica 36). U mineralnom sastavu

prevladavaju minerali glina i kvarc, dok su kao sporedne komponente prisutni feldspati, dolomit, kalcit i getit. Maseni udio sporednih mineralnih vrsta mijenja se s dubinom u korist karbonata, prvenstveno dolomita, odnosno udio feldspata i getita se smanjuje, a udio karbonatnih minerala raste. Getit je zastupljen samo u uzorcima iz gornjih intervala ove jedinice te je vrlo vjerojatno produkt sekundarnih postaložnih procesa.

Sitnozrnasta tla s lokacije Dobrodol Breg pripadaju litostratigrafskoj jedinici Andraševac. Prema Kovačiću (2004) i Kovačić & Grizelj (2006) navedeni prahovi dio su sedimentnog ciklusa koji upućuje na uvjete taloženja u okolišu prodelte i deltne padine. Prema mineralnoj zajednici i mjerenjima tragova paleotransporta izvor su im siliciklastične sedimentne i metamorfne stijene, a u manjoj mjeri i bazične te ultrabazične magmatske stijene orogenetskog pojasa (Istočne Alpe i Karpati). Radi se uglavnom o glinovitim prahovima (pogl. 5.2.1., slika 38). Prema geomehaničkoj klasifikaciji (pogl. 5.2.2., tablica 36) to su visokoplastični (MH) i niskoplastični prahovi (ML). Glavne mineralne vrste su minerali glina i kvarc, dok su kao sporedne mineralne vrste prisutni feldspati, dolomit i kalcit, a samo u nekoliko uzoraka i to u vrlo malim udjelima prisutan je getit.

6.1.2. Minerali glina

Kao što je ranije navedeno, minerali glina su glavna mineralna faza u pliokvartarnim sitnozrnastim tlima, uz kvarc i feldspate, a u većini uzoraka su i najzastupljeniji (slike 44, 45 i 46). Analizama mineralnog sastava glinovite frakcije ($< 2 \mu\text{m}$) provedenim na 39 uzoraka pliokvartarne starosti, od minerala glina identificirani su vermikulit, smektit, kaolinit i tinčasti minerali (illit i muskovit) te u gotovo zanemarivim udjelima klorit. Njihov maseni udio kreće se u rasponu 19 – 58 % (slika 48b).

Od ekspanzibilnih minerala glina najzastupljeniji je *vermikulit*. Njegov maseni udjel u tlima na temelju analize cjelovitog uzorka kreće se od 9 do čak 44%. Identificiran je analizom frakcije manje od $2 \mu\text{m}$ prema karakterističnim difrakcijskim refleksima nakon tretmana s K^+ , Mg^{2+} i naposljetku žarenjem. Ipak, to ne znači da je prisutan samo u najsitnijoj frakciji, već je vrlo vjerojatno i glavni sastojak krupnijih frakcija. Uz karakteristični refleks vermikulita, u nekoliko uzoraka, nakon saturacije glicerolom javlja se refleks na 17-18 Å koji upućuje na prisutnost još jednog ekspanzibilnog 14 Å minerala vrlo sličnog ekspanzibilnom vermikulitu te su, kao što je objašnjeno u poglavlju o rezultatima, njihovi maseni udjeli objedinjeni. Vermikuliti najčešće nastaju alteracijom trioktaedrijskih tinjaca ili alteracijom klorita u površinskim uvjetima trošenja (Weaver, 1989). Pojavu 14 Å - vermikulita u pliokvartarnim i kvartarnim sedimentima južnih padina Medvednice opisali su Slovenec & Šiftar (1991). Oni

isključuju mogućnost nastanka vermikulita alteracijom tinjaca prvenstveno jer su tinjci u stijenama i sedimentima Medvednice gotovo isključivo dioktaedrijski (muskovit, illit, paragonit) te identifikacijom interstratificiranog klorit-vermikulita u uzorcima potvrđuju nastanak vermikulita iz klorita. Postoji mogućnost da bi ekspanzibilni 14 Å – mineral glina koji je identificiran nakon saturacije s glicerolom (a potvrđeno je da nije smektit) možda mogao biti ekspanzibilni vermikulit (vermikulit tla) ili „high charge smectite“/“low charge vermiculite“, no to je potrebno dodatno istražiti saturacijom uzoraka frakcije manje od 2 µm s Mg i etilen glikolom. Prisutnost takvog ekspanzibilnog minerala još nije opisana u sedimentima Medvednice, no uvjeti za njegov nastanak u pliokvartarnim sitnozrnastim tlima postoje. Naime, u literaturi se ekspanzibilni vermikulit još naziva i vermikulit tla ili „pedogenetski vermikulit“. On nastaje alteracijom postojećeg 14 Å vermikulita u uvjetima intenzivnog površinskog trošenja (Terhorst i dr., 2012). Tome u prilog ide i činjenica da u pliokvartarnim tlima *klorit* izostaje ili je prisutan u vrlo malim, gotovo zanemarivim udjelima. Mineraloškom analizom utvrđen je samo u tri uzorka tla i to prema difrakcijskim refleksima vrlo niskih intenziteta na 4.7 Å. Kako je međuslojni razmak klorita i vermikulita jednak (14 Å), njihovi difrakcijski refleksi se preklapaju zbog čega u ta tri uzorka nije bilo moguće kvantificirati ova dva minerala svaka zasebno, već je udjel klorita pribrojen udjelu vermikulita, no prema refleksima klorita vrlo niskih intenziteta može se pretpostaviti da klorita u pliokvartarnim sitnozrnastim tlima nema, odnosno ima ga u gotovo zanemarivim udjelima (slika 48d).

Smektit je utvrđen samo u nekoliko uzoraka te je njegov maseni udio u odnosu na ostale minerale glina malen (6 – 12%). U pliokvartarnim tlima on može biti prisutan kao produkt alteracije vermikulita, ali i nekih drugih minerala (npr. illita ili klorita). Sličnost u kemijskom sastavu vermikulita i smektita u pliokvartarnim naslagama podsljemenske zone opisali su Slovenec & Šiftar (1991) na temelju čega su zaključili da se vrlo vjerojatno radi o sekundarnom smektitu koji je nastao degradacijom prisutnog vermikulita u uvjetima intenzivnog površinskog trošenja. No, isto tako, smektit može biti i naslijeđen iz ishodišnih stijena.

Uz dosad navedene minerale glina, u pliokvartarnim tlima prisutan je i *kaolinit*. Na temelju analize frakcije manje od 2µm utvrđene su dvije vrste kaolinita koje se međusobno razlikuju prema kristalnoj strukturi. Slabo kristalizirani kaolinit (ne stvara interkalacijski kompleks s DMSO), koji je identificiran gotovo u svim uzorcima pliokvartarnih tala, te dobro kristalizirani kaolinit (stvara interkalacijski kompleks s DMSO) koji je prisutan u nekoliko uzoraka s lokacije Krematorij te u većini uzoraka s lokacije Sjeverna ulica, dok je u uzorcima

s lokacije Črešnjevce potpuno odsutan. Njihov ukupni maseni udio u svim uzorcima kreće se između 3 i 19%. Prisutnost slabokristaliziranog kaolinita ukazuje na to da se vjerojatno radi o kaolinitu koji je formiran u tlu procesima pedogeneze (sekundarni mineral glina) (Jackson & Abd Kader, 1978; Durn, 1996). Ova vrsta kaolinita prisutna je u tlima u vidu kristala vrlo malih dimenzija, nepravilne morfologije i slabouređene kristalne strukture. Glavni ishodišni minerali iz kojih kaolinit može nastati u uvjetima površinskog trošenja su feldspati, tinjci, te drugi minerali glina. Prisutnost kaolinita koji interkalira s DMSO ukazuje na njegovu dobru kristaliziranost te se može pretpostaviti da je on primarni mineral glina, odnosno u tlima se nalazi kao ostatak ishodišnog materijala.

Udjel tinčastih minerala u pliokvartarnim tlima jako varira, a osobito njihova raspodjela prema frakcijama. Naime, u nizu uzoraka tinčasti minerali, a čine ih uglavnom *muskovit* i *illit* (dioktaedrijski tinjci), su jako malo zastupljeni u frakciji manjoj od 2 μm . U tlima pliokvartarne starosti javljaju se kao ostatak ishodišnog materijala, iako *illit* u površinskim sedimentima može kroz proces opetovanog vlaženja i sušenja nastati fiksiranjem K^+ kationa u kristalnu strukturu smektita (Slovenec & Bermanec, 2003).

U sitnozrnastim tlima gornjeg miocena minerali glina imaju veliki maseni udio (slika 47): 39 – 45% u sitnozrnastim tlima jedinice Pluska; 45 – 60% u tlima jedinice Hum Zabočki; te od 37 – 52% u tlima jedinice Andraševac. U litostratigrafskim jedinicama Hum Zabočki i Andraševac uz tinčaste minerale prisutni su klorit, smektit i kaolinit, dok su u litostratigrafskoj jedinici Pluska uz tinčaste minerale prisutni vermikulit i kaolinit.

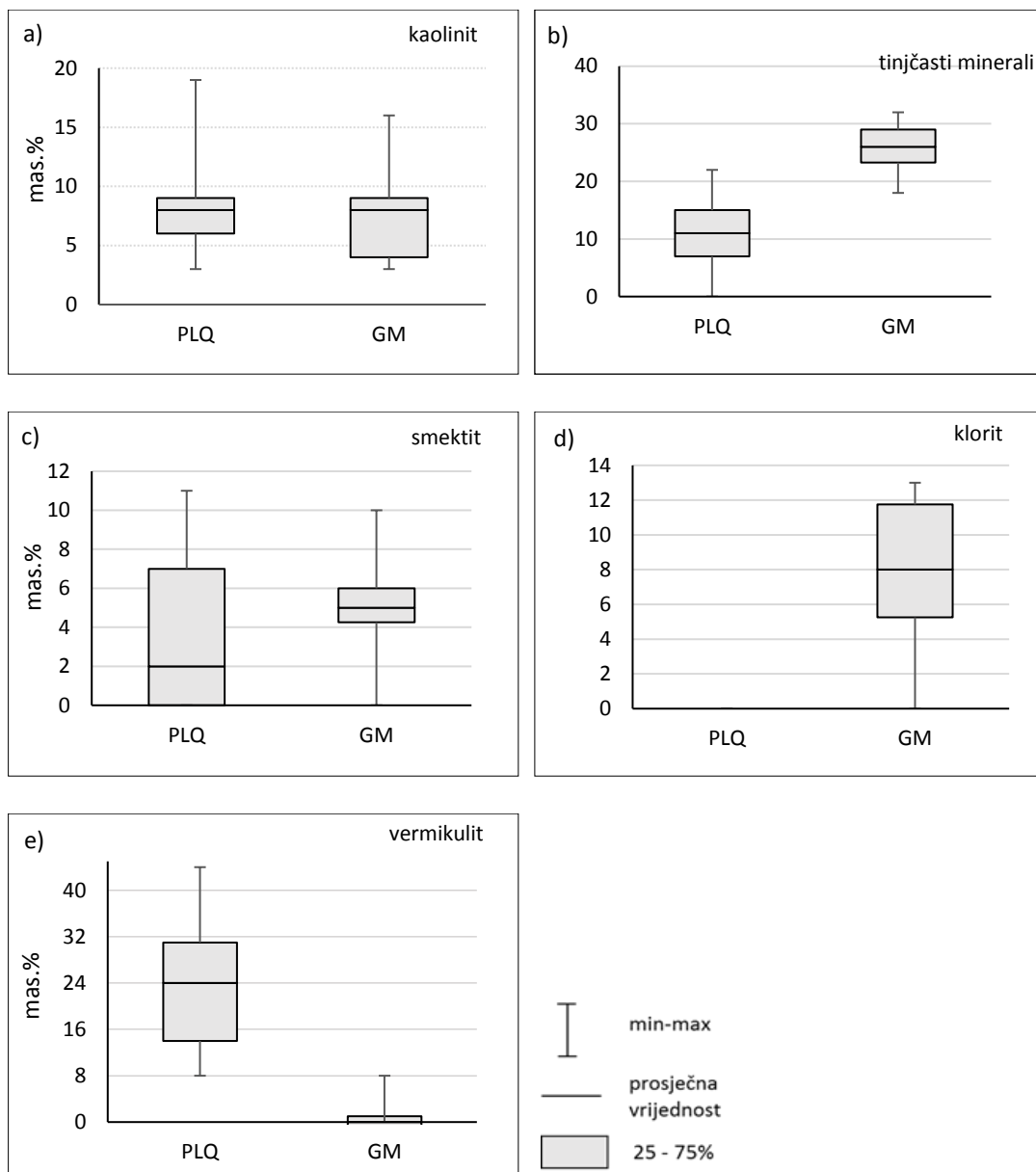
Najzastupljeniji među mineralima glina su, *illit* i *muskovit*, čiji udjel u uzorcima se kreće između 18 i 32%. Osim u frakciji manjoj od 2 μm , *illit* i *muskovit* su sastavni dio i krupnije frakcije što potvrđuje činjenica da se mogu vidjeti i golim okom (tu se prije svega misli na muskovit). To je osobito izraženo u uzorcima jedinice Hum Zabočki i Pluska, a nešto malo manje u uzorcima jedinice Andraševac. Oni, zajedno s kvarcom, predstavljaju glavne detritične mineralne vrste.

Klorit je u tlima gornjeg miocena, točnije u litostratigrafskim jedinicama Hum Zabočki i Andraševac, druga najzastupljenija vrsta minerala glina (slika 48d). Vrlo je vjerojatno, kao i tinjci, detritičnog porijekla. Sastavni je dio frakcije manje od 2 μm , no može biti prisutan i u krupnijoj frakciji što potvrđuje činjenica da su u nekim uzorcima difrakcijski maksimumi klorita prisutni na difraktogramima cjelokupnog uzorka, a izostaju na difraktogramima frakcije manje od 2 μm . Razlog za to je veličina kristala klorita koja može varirati od dimenzija najsitnije frakcije do dimenzija sitnog pijeska, što uglavnom ovisi i o njegovu porijeklu (Worden i dr., 2020). To znači da osim u frakciji gline, klorit može biti sadržan i u

krupnijim frakcijama. Sitnozrnasta tla jedinice Pluska tj. crvene gline ne sadrže klorit jer je on vrlo vjerojatno procesima intenzivnog trošenja prešao u *vermikulit* kao što su u svojim istraživanjima mineralnog sastava sličnih sedimenata na drugim lokacijama utvrdili Slovenec & Šiftar (1991) i Terhorst i dr. (2012).

U odnosu na tla pliokvartarne starosti, u gornjomiocenskim tlima utvrđeni su nešto manji udjeli *kaolinita*. U jedinici Pluska maseni udjel kaolinita kreće se između 13 i 16%, dok je njegova zastupljenost u uzorcima jedinice Hum Zabočki i Andraševac manja i iznosi između 4 i 9% (poglavlje 5.1.2., tablice 21 i 24) Za razliku od pliokvartarnih tala, u kojima je dominantniji slabokristalizirani kaolinit (kaolinit koji ne reagira s DMSO), u tlima gornjeg miocena prevladava kaolinit s dobro uređenom kristalnom strukturom. Kako su sedimenti, odnosno sitnozrnasta tla iz jedinice Hum Zabočki i Andraševac taložena u jezerskom okolišu (Kovačić, 2004; Kovačić i dr., 2006; Grizelj i dr., 2007; Grizelj i dr., 2017) pretpostavlja se da slabokristalizirani kaolinit nije prisutan u tim uzorcima ili ga ima u zanemarivo malom udjelu. Naime, slabokristalizirani kaolinit je mineral koji je karakterističan za pedogenetski okoliš, odnosno gdje je kemijsko trošenje vrlo jako i u kojima je on autigen, tj. nastaje kao produkt trošenja drugih minerala (primjerice feldspata). Sitnozrnasta tla koja pripadaju litostratigrafskoj jedinici Pluska sadrže isključivo slabokristalizirani kaolinit.

Od bubrivih minerala glina u gornjomiocenskim tlima identificirani su *smektit* i *vermikulit*. Smektit je identificiran isključivo u sitnozrnastim tlima jedinice Hum Zabočki i Andraševac u kojima njegovo porijeklo može biti dvojako; može egzistirati u tlu kao detritični ostatak koji se istaložio iz suspenzije ili može nastati kao produkt trošenja, najčešće feldspata (Weaver, 1989). Njegov udjel kreće se od 0 do 10% (slika 48c). 14Å-vermikulit je, za razliku od smektita, prisutan samo u crvenim glinama (jedinica Pluska), koje su bile vrlo vjerojatno izložene intenzivnim pedogenetskim procesima, i to samo u dva uzorka. Za razliku od pliokvartarnih tala u kojima je maseni udjel vermikulita vrlo velik, u crvenim glinama (gornji miocen) prisutan je u udjelima od 6 i 9%. U njima je kao i u pliokvartarnim tlima vermikulit vjerojatno nastao procesom vermikulitizacije klorita, ali zbog intenzivnih pedogenetskih procesa, vrlo je moguća njegova transformacija u kaolinit.

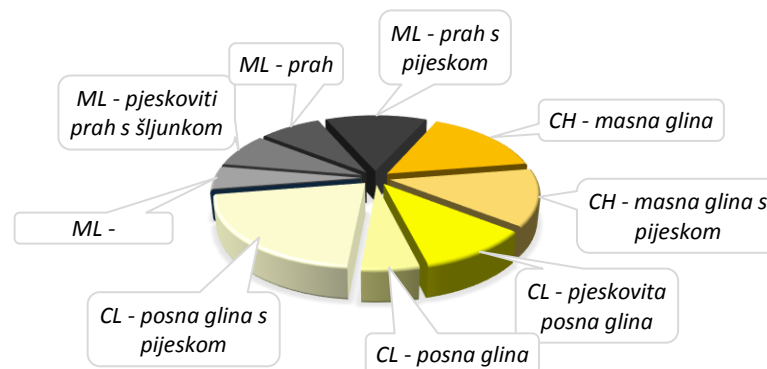


Slika 48 Usporedba udjela minerala glina u sitnozrnastim tlima pliokvartarne (PLQ, 39 uzoraka) i gornjomiocenske (GM, 20 uzoraka) starosti: a) kaolinit, b) tinjčasti minerali (illit/muskovit), c) smektit, d) klorit, e) vermikulit.

6.1.3. Vrste i fizička svojstva tala

Rezultati laboratorijskih analiza sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti pokazali su da je granulometrijski sastav ovih tala vrlo različit, a razlikuje se i prema lokaciji uzorkovanja i po dubini uzorkovanja. Sa slike 49 je vidljivo da su analizirani uzorci pliokvartarne starosti gline i prahovi s vrlo različitim udjelima pijeska i šljunka. Sva pliokvartarna sitnozrnasta tla pripadaju istoj litostratigrafskoj jedinici Bistra.

PLIOKVARTAR



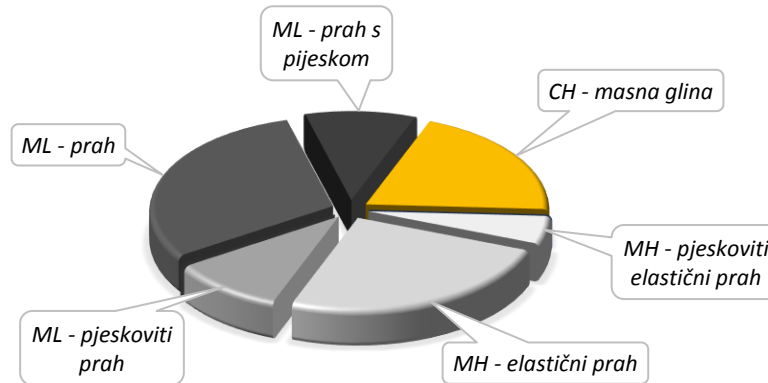
Slika 49 Relativni udio pojedinih vrsta sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti analiziranih u ovom istraživanju (39 uzoraka)

U bušotini s lokacije Črešnjevec analizirani uzorci pliokvartarne starosti determinirani su kao pjeskovito-šljunkoviti i pjeskovito-glinoviti prahovi u kojima udio šljunka pada, a udio glinovite frakcije se povećava s dubinom. Prema geomehantičkoj klasifikaciji (ASTM D 2487 – 06, 2006), ova tla su niskoplastični prahovi (ML) i niskoplastične gline (CL) (tablica 36, poglavlje 5.2.2.). Izuzetak je jedan uzorak visokoplastične gline (CH) koji je ujedno i uzorak s najvećim udjelom glinovite frakcije. U bušotini na lokaciji Krematorij izmjenjuju se pjeskovito-glinoviti i glinovito-pjeskoviti prahovi s vrlo malim udjelom šljunka u pojedinim intervalima. Uglavnom su to niskoplastični prahovi (ML), a manjim dijelom niskoplastične gline (CL) koje uglavnom predstavljaju proslojke unutar paketa niskoplastičnih prahova. Visokoplastične gline (CH) identificirane su samo na početku intervala jezgre. U bušotini na lokaciji Sjeverna ulica u plićim intervalima jezgre prevladavaju glinoviti prahovi s malim udjelima pijeska koji, idući prema dubljim intervalima jezgre, postupno prelaze u prahovite gline. U najvećoj mjeri su to niskoplastične i visokoplastične gline. U prvoj trećini intervala jezgre prevladavaju uglavnom visokoplastične gline dok se niskoplastične gline javljaju samo u nekoliko proslojaka. U dubljim intervalima jezgre sastav je obrnut, jer prevladavaju niskoplastične gline s nekoliko proslojaka visokoplastičnih glina.

Sitnozrnasta tla gornjeg miocena, analizirana u ovom radu na temelju 20 uzoraka iz tri bušotine, pripadaju litostratigrafskim jedinicama Pluska, Hum Zabočki i Andraševac. Najveći broj uzoraka klasificiran je kao prahovi (niskoplastični – ML i visokoplastični-MH), a samo četiri uzorka kao gline (CH) (slika 50). Granulometrijski sastav (poglavlje 5.2.1., slika 40) im varira ovisno o litostratigrafskoj jedinici kojoj pripadaju. U litostratigrafskoj jedinici Hum Zabočki primjetna je velika varijabilnost u omjeru pojedinih frakcija, osobito pijeska čiji maseni udio u analiziranim uzorcima varira od 10 do čak 50%. Za razliku od prahova iz

jedinice Hum Zabočki, prahovi jedinice Andraševac imaju ujednačeniji omjer frakcija u kojoj je najdominantnija frakcija praha (60-80%). Visokoplastične gline utvrđene su samo uzorcima jedinice Pluska, koji sadrže visoki udio glinovite frakcije (od 50–75%), dok ostatak čine prahovi i u manjoj mjeri i pijesci (poglavlje 5.2.1., slika 40).

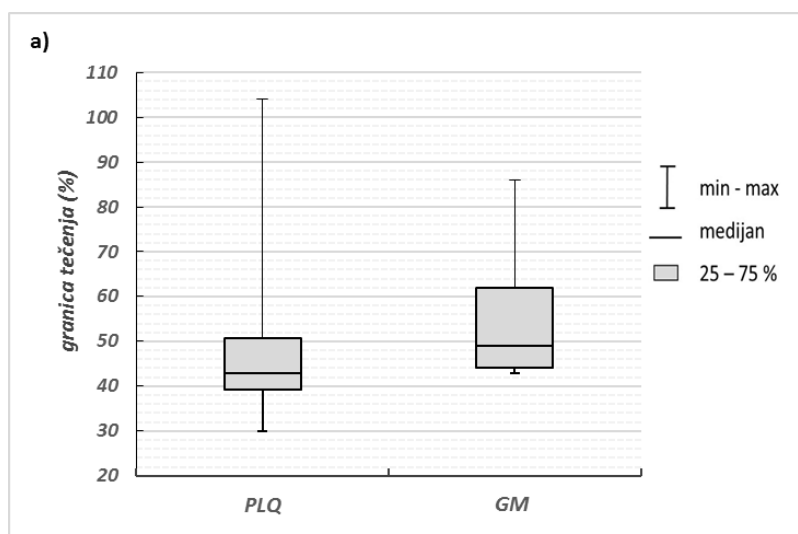
GORNJI MIOCEN

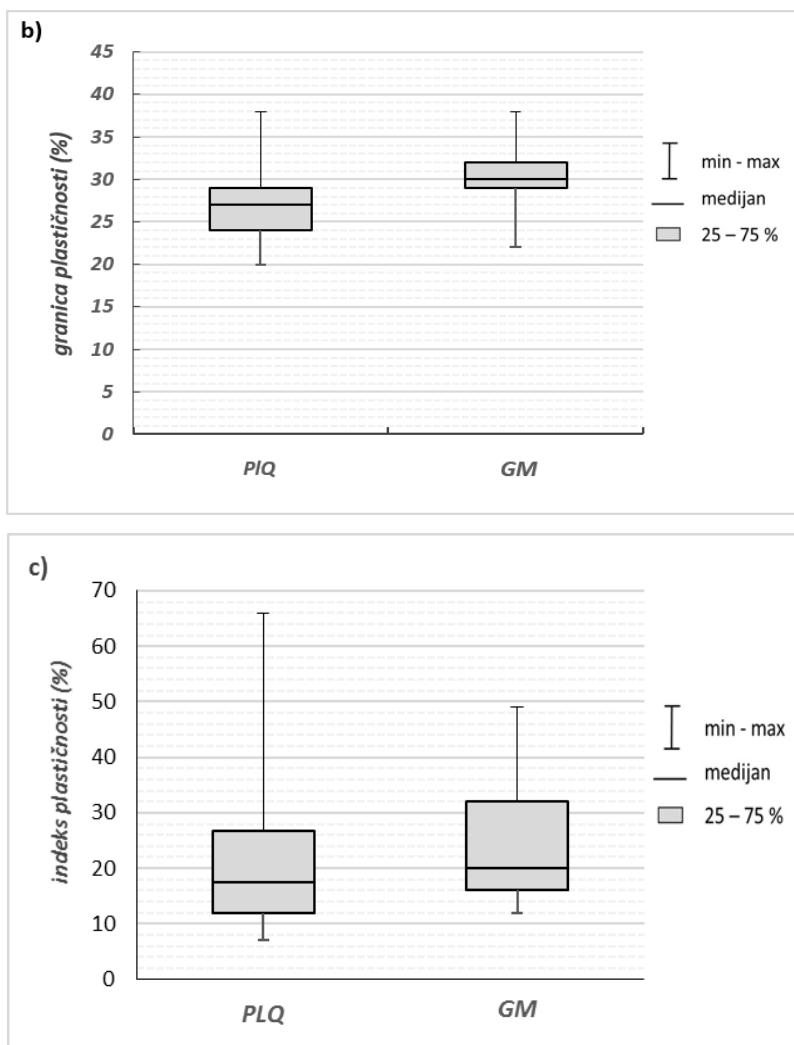


Slika 50 Relativni udio pojedinih vrsta sitnozrnastih tala gornjomiocenske starosti analiziranih u ovom istraživanju (20 uzoraka)

Takozvane „crvene gline“ s lokacije Črešnjevci i Sjeverna ulica svrstane su u litostratigrafsku jedinicu Pluska. Prema geomehaničkoj klasifikaciji to su prahovite gline visoke plastičnosti s relativno malim udjelom pijeska (poglavlje 5.2.1., slika 40; poglavlje 5.3.1., tablica 36).

Na slici 51 prikazana je usporedba sitnozrnastih tala pliokvartarne i gornjomiocenske starosti s obzirom na granice tečenja (slika 51a), granice plastičnosti (slika 51b) i indekse plastičnosti (slika 51c).

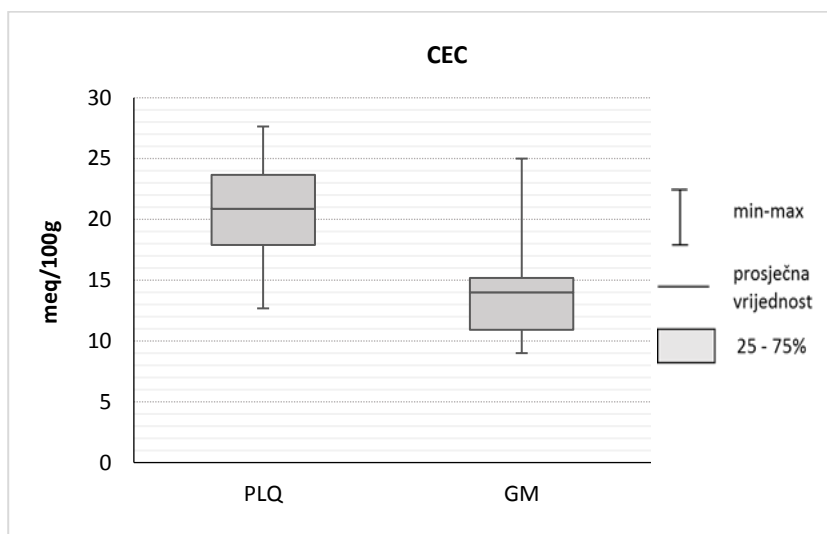




Slika 51 Usporedba sitnozrnastih tala pliokvartarne (PLQ) i gornjomiocenske (GM) starosti s obzirom na: a) granice tečenja, b) granice plastičnosti i c) indeks plastičnosti.

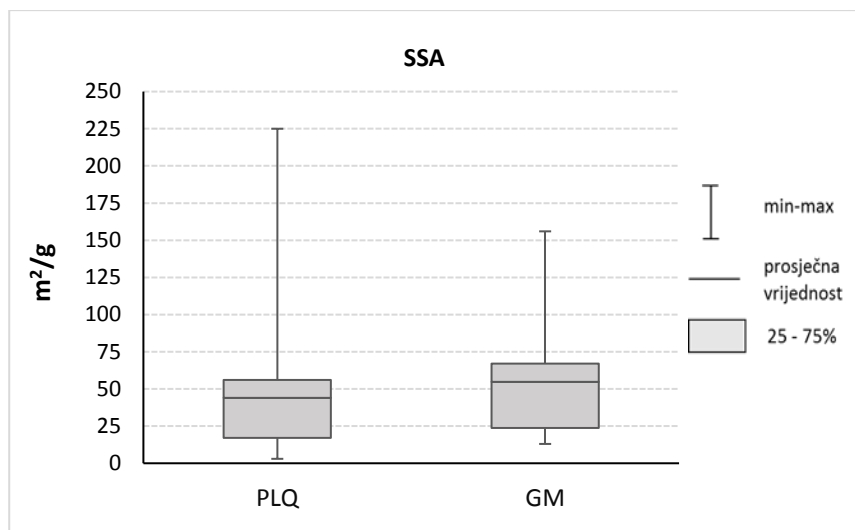
Općenito se može uočiti razlika u rasponu i varijabilnosti granica i indeksa plastičnosti između sitnozrnastih tala pliokvartarne i gornjomiocenske starosti. Veliki raspon i varijabilnost u dobivenim vrijednostima pokazuju tla pliokvartarne starosti, osobito u odnosu na granice tečenja i indeks plastičnosti. Raspon granica tečenja kod tala pliokvartarne starosti kreće se od 7 do 104%, dok se vrijednosti indeksa plastičnosti kreću u rasponu od 7 do 66%. Granice plastičnosti pokazuju manju varijabilnost i kreću se u rasponu od minimalnih 20 do maksimalnih 38%. U uzorcima tala gornjomiocenske starosti rasponi vrijednosti Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti su manji u odnosu na raspone vrijednosti za tla pliokvartarne starosti. Njihove granice tečenja su u rasponu od 43% do 86%, indeksa plastičnosti od 12% do 49%, a granice plastičnosti od 22% do 38%. Na temelju vrijednosti središnjih 50% uzoraka vidljivo je da su svi navedeni indeksi gornjomiocenskih tala viši nego kod pliokvartarnih tala.

Pliokvartarna i gornjomiocenska sitnozrnasta tla se također razlikuju i prema kapacitetu kationske zamjene (CEC) kod kojega je, na temelju ispitivanja svih 59 uzoraka, dokazana velika razlika. Iz slike 52 vidljivo je da je kapacitet kationske izmjene veći u pliokvartarnim tlima, s prosječnom vrijednosti od oko 22 meq/100g, dok je prosječna vrijednost u miocenskim tlima 14 meq/100g. Naime, pliokvartarna tla u svom sastavu sadrže veći udio glinovite frakcije, a i udjel ekspandibilnih minerala je mnogo veći (npr. visoki udjeli vermikulita) nego u tlima gornjomiocenske starosti.



Slika 52 Usporedba vrijednosti kapaciteta kationske izmjene (CEC) sitnozrnastih tala pliokvartarne (PLQ) i gornjomiocenske (GM) starosti.

Za razliku od CEC-a, prosječne vrijednosti specifične površine (SSA) tla su veće u gornjomiocenskim tlima, dok su u pliokvartarnim tlima veći rasponi (slika 53). Razlog tome je prije svega velika varijabilnost u granulometrijskom sastavu pliokvartarnih tala, te ujednačenost granulometrijskog sastava u gornjomiocenskim tlima. Ovakvoj raspodjeli vrijednosti doprinosi i raspon veličine čestica minerala glina. Naime, pliokvartarna tla su vrlo bogata mineralima glina od kojih su jako dominantni vermikulit i tinjčasti minerali. Oba minerala, osim u frakciji manjoj od 2 μm mogu biti dio frakcije praha pa čak i pijeska (Ghabru i dr., 1989). U odnosu na njih, gornjomiocenska tla sadrže manje količine glinovite frakcije, a veće količine frakcije praha što također utječe na SSA. Isto tako, u glinovitoj frakciji zastupljeni su minerali koji mogu biti vrlo sitnih dimenzija (nanometarskih) i koji značajno doprinose ukupnoj SSA nekog uzorka tla.



Slika 53 Usporedba vrijednosti specifične površine (SSA) sitnozrnastih tala pliokvartarne (PLQ) i gornjomiocenske (GM) starosti.

6.2. RAZLIKE MEĐU SITNOZRNASTIM TLIMA PLIOKVARTARNE I GORNJOMIOCENSKE STAROSTI DOBIVENE TEMELJEM STATISTIČKIH ANALIZA

U slučaju velikog broja analitičkih podataka ponekad je teško vidjeti jasne razlike između pojedinih grupa. U ovom istraživanju analiza varijance i diskriminantna analiza poslužile su kao statistički alat za utvrđivanje razlike u mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima između različitih grupa sitnozrnastih tala. Prvi cilj diskriminantne analize bio je utvrditi postoji li razlika u mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima između pliokvartarnih i gornjomiocenskih sitnozrnastih tala. Sljedeći korak bio je utvrditi postoji li razlika u mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima između različitih vrsta sitnozrnastih tala prema geomehaničkoj klasifikaciji. U posljednjem koraku analizirane su razlike između različitih vrstama tala s obzirom na geomehaničku klasifikaciju i pripadnost litostratigrafskoj jedinici. Isto tako, primjena diskriminantne analize prema tri modela dala je uvid u to prema kojem modelu su razlike najizraženije i koja su to svojstva, odnosno koje su to varijable prema kojima se analizirane grupe najviše razlikuju.

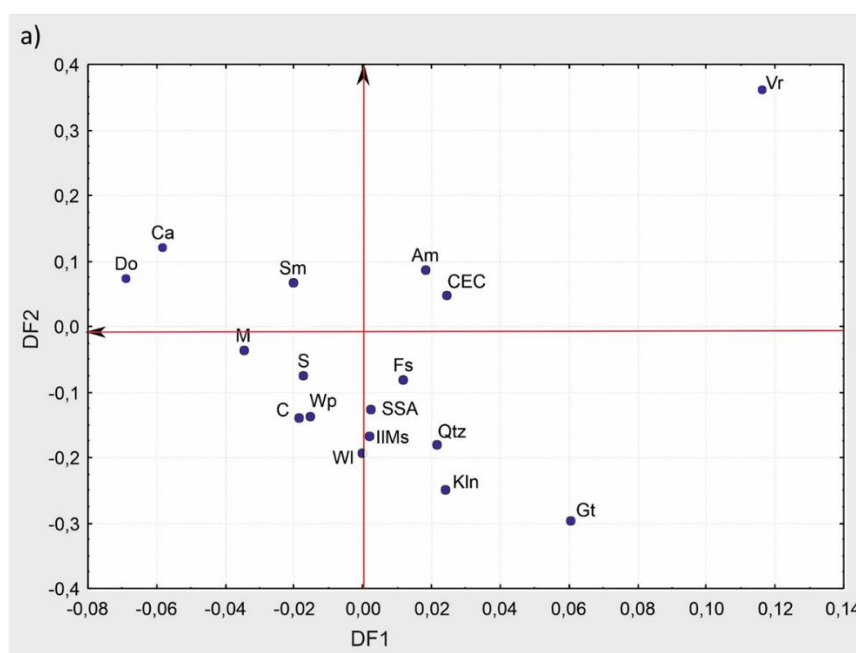
6.2.1. Diskriminantna analiza prema pripadnosti litostratigrafskim jedinicama

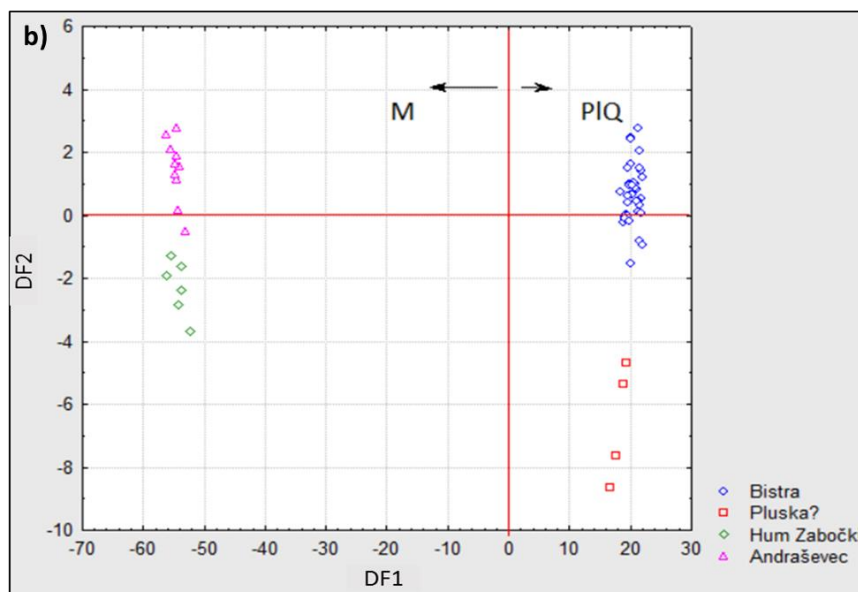
Na temelju mineraloškog sastava i fizičkih svojstava provedena je diskriminantna analiza prema starosti, odnosno pripadnosti neformalnim litostratigrafskim jedinicama. Uzorci sitnozrnastih tala su razdjeljeni u ukupno četiri grupe prema litostratigrafskoj pripadnosti, odnosno dvije grupe prema relativnoj geološkoj starosti: jedinica Bistra (pliokvartar), jedinice Pluska, Hum Zabočki i Andraševac (gornji miocen). Iz slike 54b vidljivo je da se sve četiri grupe sitnozrnastih tala dobro razdvajaju diskriminantnim funkcijama. Prva diskriminantna os (DF1) odjeljuje pliokvartarna sitnozrnasta tla od gornjomiocenskih sitnozrnastih tala (velika udaljenost grupa od osi) i to na osnovu mineralnog sastava tala dok druga diskriminantna os DF2 utvrđuje dodatne razlike unutar već potpuno odijeljenih stratigrafskih jedinica GM i PLQ, ponajprije na osnovu njihovih fizičkih svojstava. Manji broj uzoraka iz litostratigrafske jedinice Bistra i Andraševac nalaze se na samoj osi što znači da imaju sastav koji je prosječan za sve grupe na DF2. Primjetno je i da su svi uzorci jedinice Pluska (crvene gline) pripali grupi pliokvartarnih tala, a ne gornjomiocenskih tala kako je bilo očekivano na temelju nekih dosadašnjih istraživanja (Višić, 2012), što također otvara mogućnost za nova istraživanja.

Na dijagramu 54a prikazane su varijable prema kojima se grupe najbolje razlikuju. Primjetno je da se sitnozrnasta tla pliokvartarne starosti (jedinica Bistra) najviše razlikuju od gornjomiocenskih prema sadržaju vermikulita (Vr) i getita (Gt). Naime, udaljenost vermikulita od obje osi, odnosno veliko pozitivno diskriminantno opterećenje, pokazuje da se ova sitnozrnasta tla razlikuju prema većim udjelima vermikulita i getita, dok ostalih minerala ima znatno manje. U odnosu na pliokvartarne vrste sitnozrnastih tala, gornjomiocenske vrste sitnozrnastih tala također se razlikuju prema većim udjelima kalcita (Ca) i dolomita (Do), kao i po sadržaju smektita.

Diskriminantna os DF2 odjeljuje grupe sitnozrnastih tala koje se, osim u mineralnom sastavu, razlikuju znatnije i prema fizičkim svojstvima tala. Tako je usporedbom dijagrama na slici 54a i b primjetno da se jedinica Bistra od ostalih grupa tala razlikuje po nešto većim kapacitetima kationske izmjene (CEC), dok se tla iz jedinice Pluska i Hum Zabočki ističu prema nešto većim udjelima glinovite frakcije (C) te većim vrijednostima specifične površine (SSA) i granice tečenja (WL).

Razlike u mineralnom sastavu, osobito u sastavu minerala glina među sitnozrnastim vrstama tala pliokvartarne i gornjomiocenske starosti, koje su dobivene ovom diskriminantnom analizom, posljedica su prvenstveno različitih uvjeta u kojima su ova tla taložena kao i različitih uvjeta trošenja. Naravno, kao posljedica svega navedenog, ova tla pokazuju i određene razlike u fizičkim svojstvima.





Slika 54 Diskriminantna analiza na temelju litostratigrafske pripadnosti prema mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima sitnozrnastih tala: a) dijagram varijabli (diskriminantna opterećenja), b) dijagram uzoraka (diskriminantni bodovi) u reduciranom diskriminantnom prostoru prve (DF1) i druge (DF2) diskriminantne osi. *Am* – amfibol, *Ca*-kalcit, *Do*-dolomit, *Fs*-feldspati, *Gt*-getit, *Il/Ms*-tinjci (illit/muskovit), *Kln*-kaolinit, *Qtz*-kvarc, *Sm*-smektit, *C*-glinovita frakcija, *M*-frakcija praha, *S*-frakcija pijeska, *Wl*-granica tečenja, *Wp*-granica plastičnosti, *IP*-indeks plastičnosti, *CEC*-kapacitet kationske izmjene, *SSA*-specifična površina, *PLQ*-tla pliokvartarne stratigrafske pripadnosti, *M*-tla gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti.

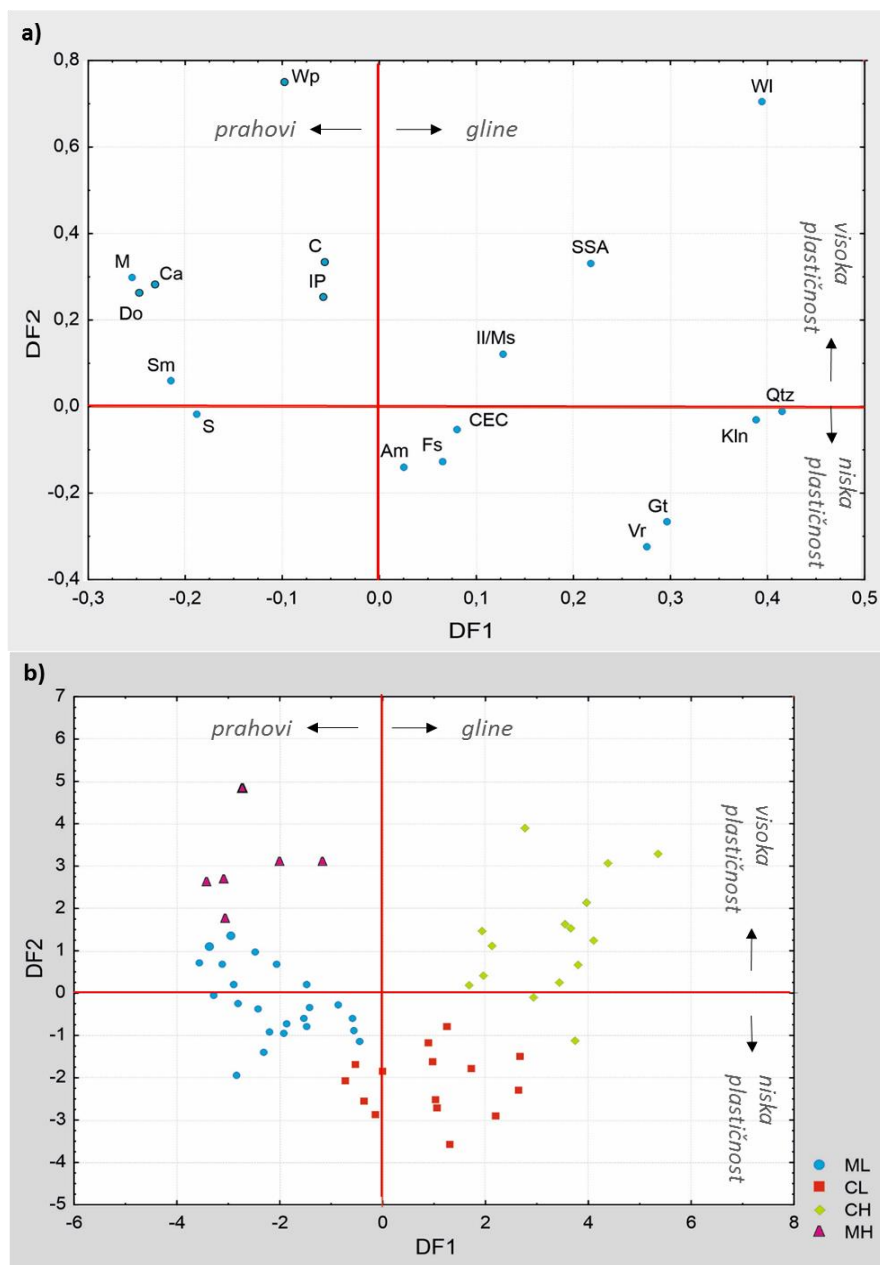
6.2.2. Diskriminantna analiza prema vrsti tla

Na temelju mineraloškog sastava i fizičkih svojstava izvedena je diskriminantna analiza prema vrsti tla određenoj prema USCS geomehaničkoj klasifikaciji (ASTM D 2487 – 06, 2006) (slika 55a i b) kojom se nastojalo utvrditi postoje li razlike u mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima među klasificiranim inženjerskim vrstama tla, neovisno o njihovoj stratigrafskoj pripadnosti. Na temelju geomehaničke klasifikacije, ispitivani uzorci su izdvojeni u četiri inženjerskogeološke grupe tla (pogl. 5.3.1., tablica 36): visokoplastične ili masne gline (CH), niskoplastične ili posne gline (CL), visokoplastični ili elastični prahovi (MH) i niskoplastični prahovi (ML).

Prva diskriminantna os (DF1) odvaja gline od prahova, dok druga diskriminantna os (DF2) odvaja visokoplastične vrste tla od niskoplastičnih vrsta. Usporedbom dijagrama na slici 55 primjetno je da prva diskriminantna os (DF1) razlikuje gline od prahova po udjelu vermikulita (*Vr*), kaolinita (*Kln*), getita (*Gt*) i kvarca (*Qtz*). Prahovi, za razliku od glina, imaju veći udio smektita (*Sm*), kalcita (*Ca*) i dolomita (*Do*) te sadrže veće udjele pjeskovite frakcije i frakcije praha. Isto tako, gline se odlikuju većim vrijednostima granica tečenja (*Wl*) i specifične površine (*SSA*).

Druga diskriminantna os DF2 prilično dobro razlikuje visokoplastične gline (CH) od niskoplastičnih glina (CL). Niskoplastične gline imaju veće udjele vermikulita (*Vr*) i getita

(Gt), dok se visokoplastične gline odlikuju većim vrijednostima specifične površine (SSA) i granica tečenja (WL). Za razliku od glina, visokoplastični prahovi se odlikuju većim vrijednostima granica plastičnosti od niskoplastičnih prahova.



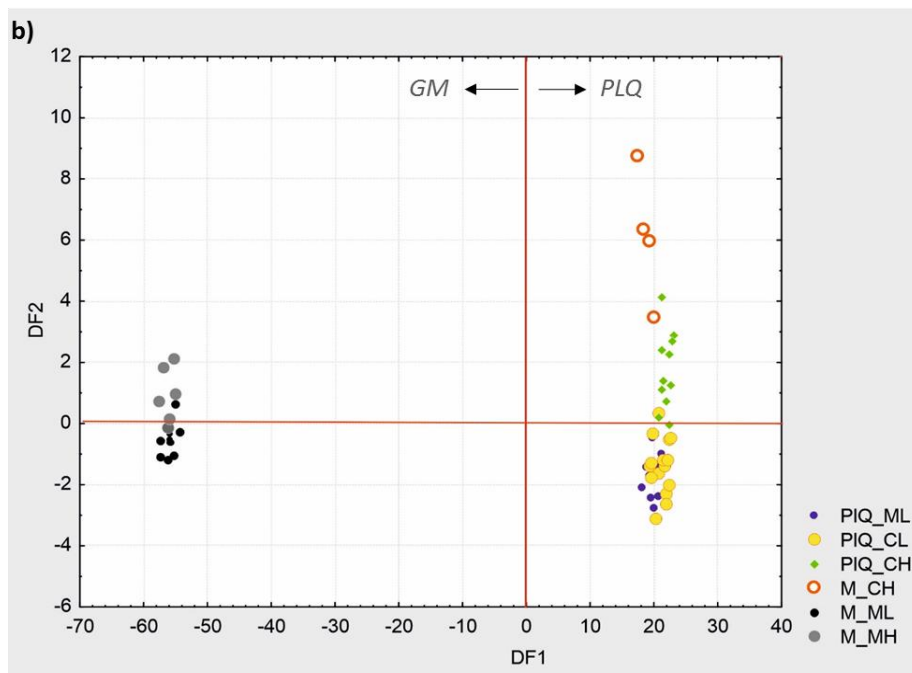
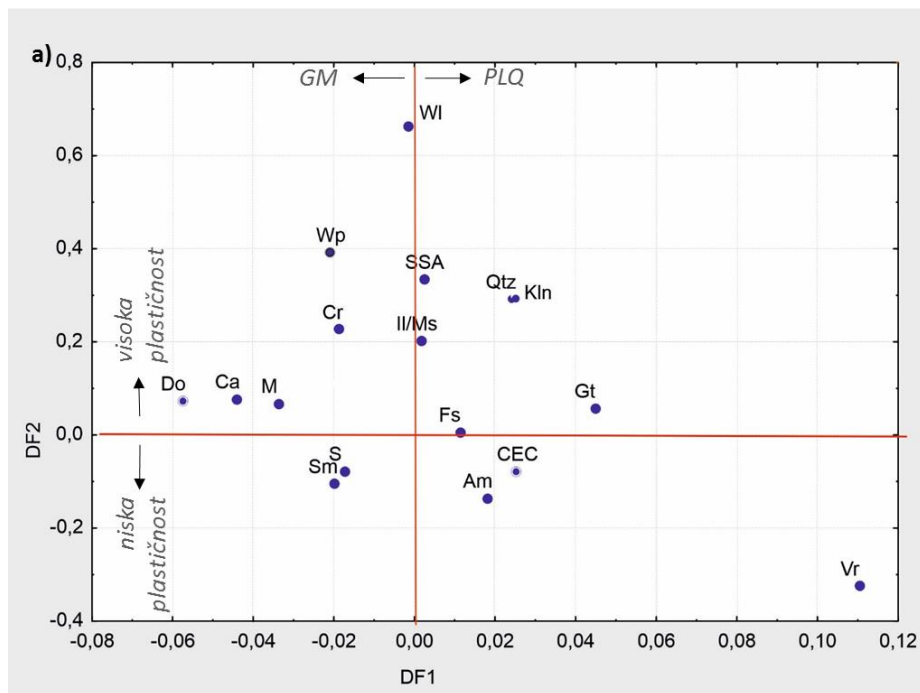
Slika 55 Diskriminantna analiza prema geomehničkoj vrsti tla na temelju mineralnog sastava i fizičkih svojstava: a) dijagram varijabli (diskriminantna opterećenja), b) dijagram uzoraka (diskriminantni bodovi) u reduciranom diskriminantnom prostoru prve (DF1) i druge (DF2) diskriminantne osi. Am – amfibol, Ca-kalcit, Do-dolomit, Fs-feldspati, Gt-getit, Il/Ms-tinjci (illit/muskovit), Kln-kaolinit, Qtz-kvarc, Sm-smektit, C-glinovita frakcija, M-frakcija praha, S-frakcija pijeska, Wl-granica tečenja, Wp-granica plastičnosti, IP-indeks plastičnosti, CEC-kapacitet kationske izmjene, SSA-specifična površina, CH-visokoplastične gline, CL-niskoplastične gline, MH-visokoplastični prahovi, ML-niskoplastični prahovi.

6.2.3. Diskriminantna analiza prema vrsti tla određene starosti

Na temelju klasifikacije prema litostratigrafskoj pripadnosti i vrsti tla prema geomehaničkoj klasifikaciji (ASTM D 2487 – 06, 2006) analizirani uzorci su razvrstani u ukupno šest grupa: pliokvartarne gline niske plastičnosti (PLQ-CL), pliokvartarne gline visoke plastičnosti (PLQ – CH), pliokvartarni prahovi niske plastičnosti (PLQ-ML), gornjomiocenske gline visoke plastičnosti (GM-CH), gornjomiocenski prahovi visoke plastičnosti (GM-MH) i gornjomiocenski prahovi niske plastičnosti (GM-ML). Budući da su prethodnim diskriminantnim analizama utvrđene određene razlike u mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima tala promatrajući zasebno njihovu litostratigrafsku pripadnost i vrstu tla, ovom analizom željelo se utvrditi postoji li razlika u mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima između istovrsnih tala različite litostratigrafske pripadnosti (npr. između PLQ-CH i GM-CH).

Promatrajući grafičke prikaze na slici 56a i b vidljivo je da prva diskriminantna os (DF1) dijeli tla na temelju njihove stratigrafske pripadnosti, dok druga diskriminantna os (DF2) dijeli tla najviše na osnovu njihove plastičnosti. Diskriminantna os DF1 općenito razlikuje pliokvartarne od gornjomiocenskih vrsta tla i to uglavnom prema mineralnom sastavu. Pliokvartarne vrste tla sadrže veće udjele vermikulita (Vr), getita (Gt) te kaolinita (Kln) i kvarca (Qtz), dok se gornjomiocenske vrste tla razlikuju prema udjelima kalcita (Ca), dolomita (Do) i smektita (Sm). S druge strane, diskriminantna os DF2 razlikuje visokoplastične vrste tla od niskoplastičnih. Visokoplastične vrste tla imaju veće vrijednosti granice tečenja (WL), granice plastičnosti (WP) i specifične površine (SSA).

Izuzetak predstavljaju „crvene gline“ koje su visokoplastične gline, klasificirane kao gornjomiocenske, a grupiraju se u diskriminantnom prostoru koji karakterizira pliokvartarne vrste tla (slika 56b). Međutim, s obzirom na veću udaljenost od sjecišta diskriminantnih osi (veći diskriminantni bodovi u pozitivnom smjeru vektora DF2) ipak se razlikuju od ostalih pliokvartarnih sitnozrnastih tala, što navodi na zaključak da su vrlo vjerojatno taložena u uvjetima koji su različiti od taložnih uvjeta u kojima su istaložena ostala tla. Naime, promatrajući stratigrafski slijed tala jedinice Pluska, koji se najbolje vidi na lokaciji Črešnjevce, navedena tla se nalaze izravno na gornjomiocenskim tlima jedinice Hum Zabočki, a neposredno ispod pliokvartarnih tala, odnosno tala jedinice Bistra. Ovakav položaj, kao i razlike u mineralnom sastavu od ostalih vrsta sitnozrnastih tala upućuje na zaključak da se možda radi o pliocenskim naslagama. Naravno, navedenu pretpostavku trebalo bi potkrijepiti dodatnim istraživanjem.



Slika 56 Diskriminantna analiza prema geomehaničkoj vrsti tla i njihovoj stratigrafskoj pripadnosti na temelju mineralošskog sastava i fizičkih svojstava: a) dijagram varijabli (diskriminantna opterećenja), b) dijagram uzoraka (diskriminantni bodovi) u reduciranom diskriminantnom prostoru prve (DF1) i druge (DF2) diskriminantne osi. *Am* – amfibol, *Ca*-kalcit, *Do*-dolomit, *Fs*-feldspati, *Gt*-getit, *Il/Ms*-tinjci (illit/muskovit), *Kln*-kaolinit, *Qtz*-kvarc, *Sm*-smektit, *C*-glinovita frakcija, *M*-frakcija praha, *S*-frakcija pijeska, *WI*-granica tečenja, *Wp*-granica plastičnosti, *IP*-indeks plastičnosti, *CEC*-kapacitet kationske izmjene, *SSA*-specifična površina.

6.3. UTJECAJ MINERALA GLINA NA FIZIČKA SVOJSTVA SITNOZRNASTIH TALA

Prethodnim analizama dokazana je prva hipoteza ovog istraživanja da je relativna zastupljenost pojedinih vrsta minerala glina u sitnozrnastim tlima pliokvartarne i

gornjomiocenske starosti podsljemenske zone grada Zagreba je različita. Također je pokazano da različite vrste sitnozrnastih tala koje pripadaju različitim litostratigrafskim jedinicama pokazuju određene razlike u fizičkim svojstvima. Međutim, ono što nije vidljivo iz prethodno prikazanih analiza je koji to minerali glina i na koji način utječu na fizička svojstva, odnosno pokazuju li minerali glina korelaciju s fizičkim svojstvima i zašto. U tu svrhu su provedene statističke korelacije na način da daju odgovor na tri postavljene hipoteze:

- U sitnozrnastim tlima pliokvartarne starosti najveći utjecaj na veliku specifičnu površinu te visoke vrijednosti Atterbergovih granica imaju vermikuliti, a u sitnozrnastim tlima gornjomiocenske starosti smektiti.
- Veliku specifičnu površinu te visoke vrijednosti Atterbergovih granica mogu imati i sitnozrnasta tla koja ne sadrže bubrežne vrste minerala glina.
- Zavisnost fizičkih svojstava tla o količini i mineralnom sastavu glinovite frakcije u tlu moguće je opisati statističkim modelima.

Korelacijske analize su provedene na uzorcima koji su prethodno klasificirani prema litostratigrafskoj pripadnosti i geomehaničkoj vrsti tla, pri čemu je broj uzoraka bio sljedeći:

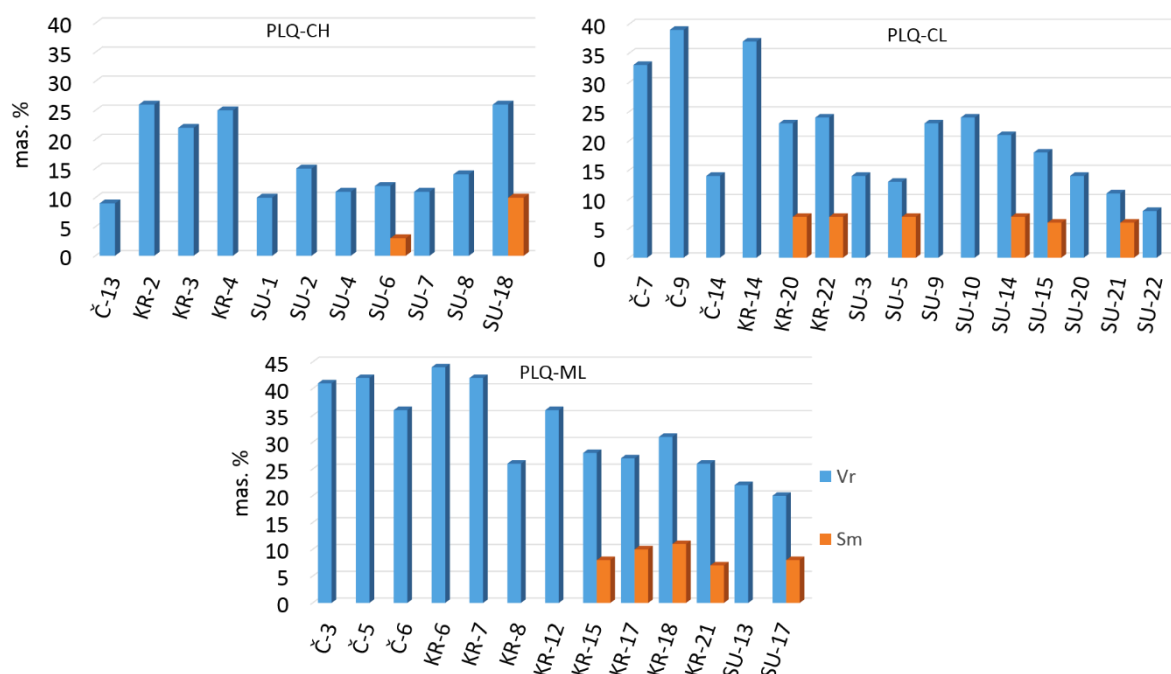
- pliokvartarne gline niske plastičnosti (PLQ-CL), 15 uzoraka;
- pliokvartarne gline visoke plastičnosti (PLQ – CH), 11 uzoraka;
- pliokvartarni prahovi niske plastičnosti (PLQ-ML), 13 uzoraka;
- gornjomiocenske gline visoke plastičnosti (GM-CH), 4 uzoraka;
- gornjomiocenski prahovi visoke plastičnosti (GM-MH), 8 uzoraka i;
- gornjomiocenski prahovi niske plastičnosti (GM-ML), 8 uzoraka.

6.3.1. Ekspandibilni minerali glina

Od ekspandibilnih minerala glina u sitnozrnastim tlima podsljemenske zone grada Zagreba identificirani su smektit i vermikulit. U prethodnim poglavljima je navedeno da su vermikuliti glavni sastavni dio sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti, dok u sitnozrnastim tlima gornjomiocenske starosti vermikuliti u potpunosti izostaju te ulogu glavnog ekspandibilnog minerala preuzima smektit. Gornjomiocenska sitnozrnasta tla (odnosno gornjomiocenski sedimenti u geološkom smislu) istaložena su u plitkom marinskom i jezerskom okolišu nakon čega nisu bila izložena intenzivnom trošenju (Kovačić, 2004; Kovačić & Grizelj, 2006). Budući da je vermikulit mineral glina koji nastaje u okolišima intenzivnog trošenja (Chamley, 1989) njegova prisutnost je očekivana u pliokvartarnim sitnozrnastim tlima (odnosno pliokvartarnim sedimentima u geološkom smislu). Ona su

nastala raspadanjem podloge i taloženjem transportiranog (koluvijalnog) materijala iz hipsometrijski viših predjela u niže te su kroz duže geološko razdoblje izložena trošenju zbog čega ih već Šikić (1995) opisuje kao raspucana fosilna tla. U odnosu na vermikulit, smektit se javlja u pliokvartarnim tlima tek u nekoliko uzoraka i u relativno malim udjelima (slika 57), dok se u gornjomiocenskim tlima javlja kontinuirano u svim uzorcima visokoplastičnih i niskoplastičnih prahova.

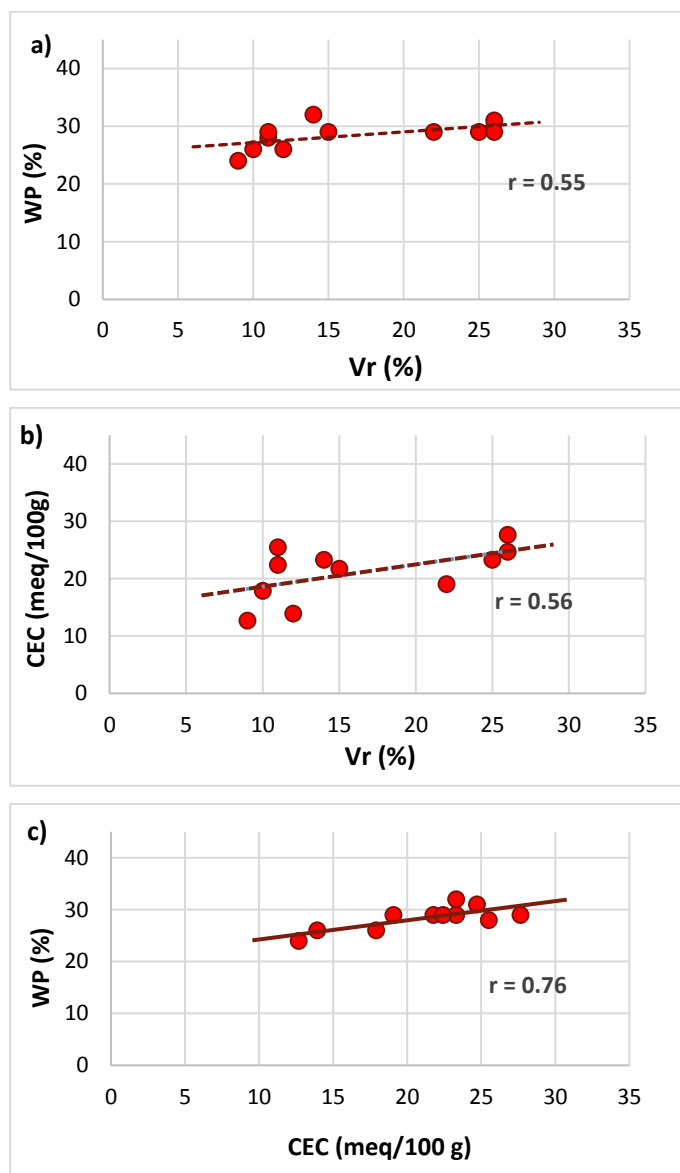
Vermikulit je identificiran u svim vrstama sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti (slika 56). Njegov maseni udio varira u rasponu od 8 do 44%, ovisno o lokaciji kao i o dubini uzorkovanja. Utjecaj vermikulita na fizička svojstva tla je različit ovisno o geomehaničkoj vrsti tla.



Slika 57 Maseni udjeli vermikulita i smektita u pliokvartarnim sitnozrnastim tlima s lokacija Črešnjevce: a) pliokvartarne visokoplastične gline (PLQ-CH), b) pliokvartarne niskoplastične gline (PLQ-CL), c) pliokvartarni niskoplastični prahovi (PLQ-ML). Oznake: Č-Črešnjevce, K-Krematorij, SU-Sjeverna ulica.

Utjecaj vermikulita pokazuje najbolju korelaciju u visokoplastičnim glinama pliokvartarne starosti (PLQ-CH) s granicom plastičnosti, $r=0.55$ (slika 58a) kao i s kapacitetom kationske izmjene, $r=0.56$ (slika 58b). Korelacija s drugim fizičkim svojstvima istih vrsta tala, primjerice s granicom tečenja i specifičnom površinom, vrlo je slaba ili nikakva. To znači da je u visokoplastičnim glinama vermikulit glavni mineral o kojem ovisi plastično ponašanje tla, odnosno količina vode u tlu potrebna da se tlo počinje ponašati plastično je vezana uglavnom za vermikulite i posljedica je kationske izmjene koja se dešava na rubovima čestica vermikulita i u međuslojnom prostoru. Na to ukazuje vrlo dobra

povezanost vermikulita s CEC-om (slika 57b) kao i dobra povezanost CEC-a s granicom plastičnosti (slika 58c).

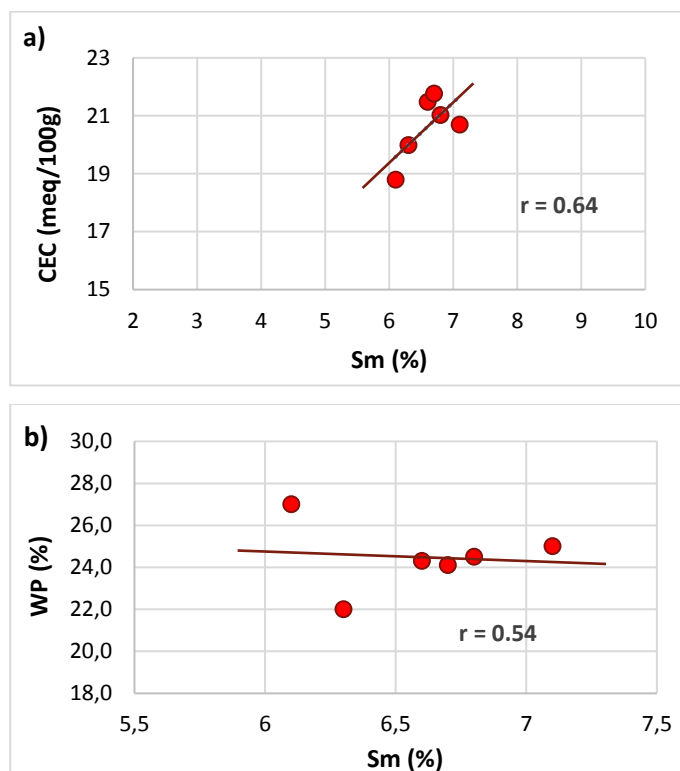


Slika 58 Korelacijski dijagram utjecaja vermikulita na fizička svojstva visokoplastičnih glina pliokvartarne starosti (PLQ-CH): a) zavisnost granice plastičnosti (WP) o sadržaju vermikulita, b) zavisnost kapaciteta kationske izmjene (CEC) o sadržaju vermikulita i c) zavisnost granice plastičnosti (WP) o kapacitetu kationske izmjene.

Udio smektita u visokoplastičnim glinama pliokvartarne starosti (CH-PLQ) ne pokazuje povezanost s fizičkim svojstvima budući da ga u ovoj vrsti sitnozrnastih tala ima izuzetno malo (od 3 do 10%).

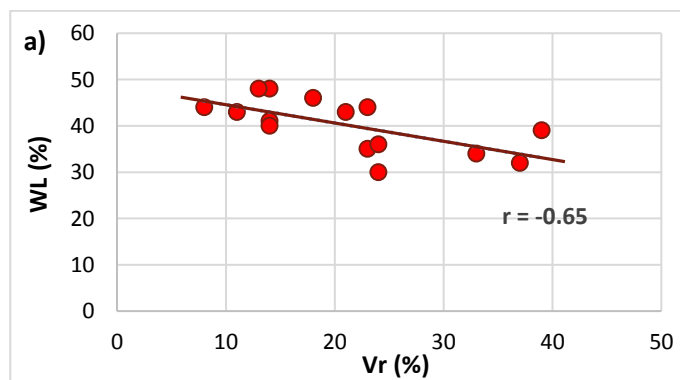
Kod niskoplastičnih glina pliokvartarne starosti utjecaj bubrivih minerala glina je različit u odnosu na visokoplastične gline iste starosti. Uz vermikulit, u nekoliko uzoraka (šest od ukupno 15 uzoraka) prisutan je i smektit iako u relativno malim i prilično ujednačenim udjelima (slika 57b). Promatrajući samo smektit u šest uzoraka, on najviše djeluje na kapacitet

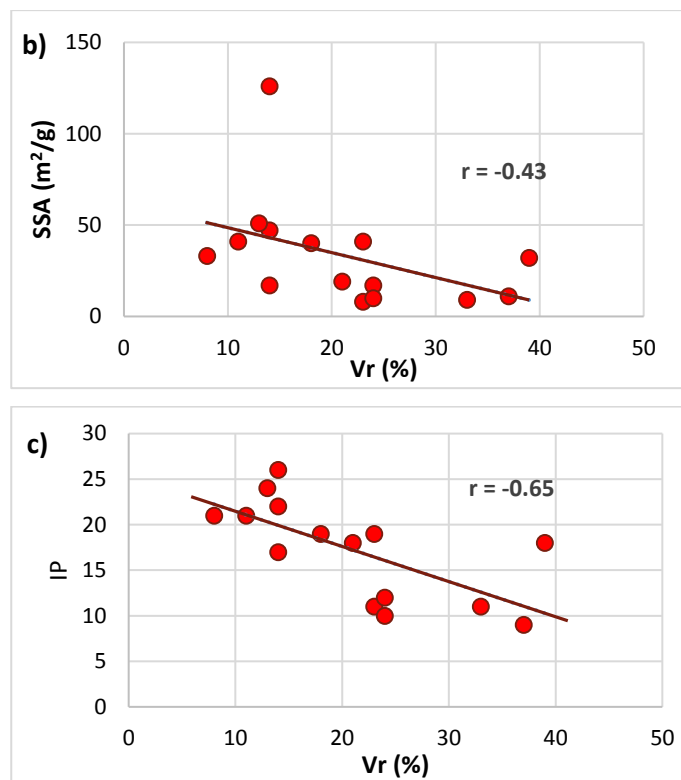
kationske izmjene ($r=0.64$) (slika 59a), odnosno granicu plastičnosti ($r=0.54$) (slika 59b) na način da se s povećanjem relativnog udjela smektita povećavaju i ova dva navedena svojstva.



Slika 59 Korelacijski dijagram utjecaja smektita na fizička svojstva niskoplastičnih glina pliokvartarne starosti (PLQ-CL): a) zavisnost kapaciteta kationske izmjene (CEC) o sadržaju smektita (Sm), b) zavisnost granice plastičnosti (WP) o sadržaju smektita.

Za razliku od smektita, vermikulit u pliokvartarnim glinama niske plastičnosti nema značajni utjecaj na kapacitet kationske izmjene, a samim time ni na granicu plastičnosti. Međutim, vermikulit u ovim tlima pokazuje interesantnu korelaciju s granicom tečenja ($r=-0.65$), specifičnom površinom ($r=-0.43$) i indeksom plastičnosti ($r=-0.67$). Navedene korelacije su relativno jake i negativne (slika 60a, 60b i 60c), jer se s povećanjem relativnog udjela vermikulita u uzorcima smanjuju vrijednosti granica tečenja, specifičnih površina i indeksa plastičnosti.

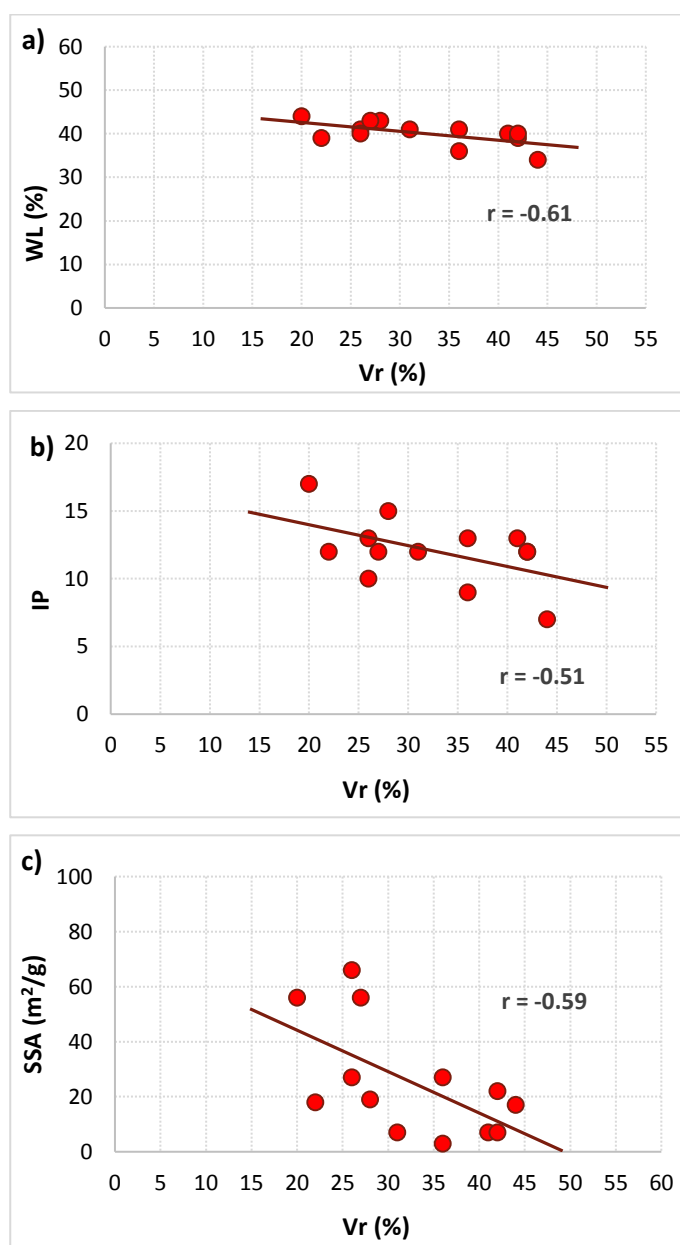




Slika 60 Korelacijski dijagram vermikulita i fizičkih svojstava niskoplastičnih glina pliokvartarne starosti (PLQ-CL): a) zavisnost granice tečenja (WL) o sadržaju vermikulita (Vr), b) zavisnost specifične površine (SSA) o sadržaju vermikulita, c) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o sadržaju vermikulita

Jedino moguće objašnjenje svih utvrđenih opisanih odnosa može proizaći iz veličine čestica vermikulita. Naime, vermikulit najčešće nastaje transformacijom iz biotita i klorita u uvjetima intenzivnijeg trošenja procesom istiskivanja kalija iz strukture (Velde & Meunier, 2008; Wilson, 1999; Chamley, 1989). Taj proces je postupan jer zrna klorita, odnosno biotita postupno preuzimaju strukturu vermikulita. To znači i da veličina zrna vermikulita ovisi o veličini zrna primarnih minerala. Budući da zrna klorita i biotita mogu biti različite veličine (najčešće veličine zrna pijeska i praha) i vermikulit koji iz njih nastaje najčešće je makroskopskih veličina, odnosno prevladava u frakciji praha i pijeska (Ghabru i dr., 1989, Raman & Mortland, 1966, Belak, usmeno priopćenje,). Negativne korelacije vermikulita s fizičkim svojstvima ukazuju na to da se s povećanjem količine vermikulita povećava i veličina čestica vermikulita čime se smanjuje specifična površina, a kao posljedica i granice tečenja. Količina vermikulita i veličina čestica u ovim sitnozrnastim tlima vjerojatno je povezana sa stupnjem trošnosti tla. Naime, s porastom intenziteta trošenja nastali vermikulit makroskopskih čestica se troši u sitnije kristale koji se s daljnjim porastom intenziteta trošenja mogu transformirati u smektit ili kaolinit kao krajnje produkte trošenja (Wilson, 1999; Chamley, 1989). U vrlo trošnim tlima vermikulit je prisutan u manjim količinama i njegove čestice su manjih dimenzija.

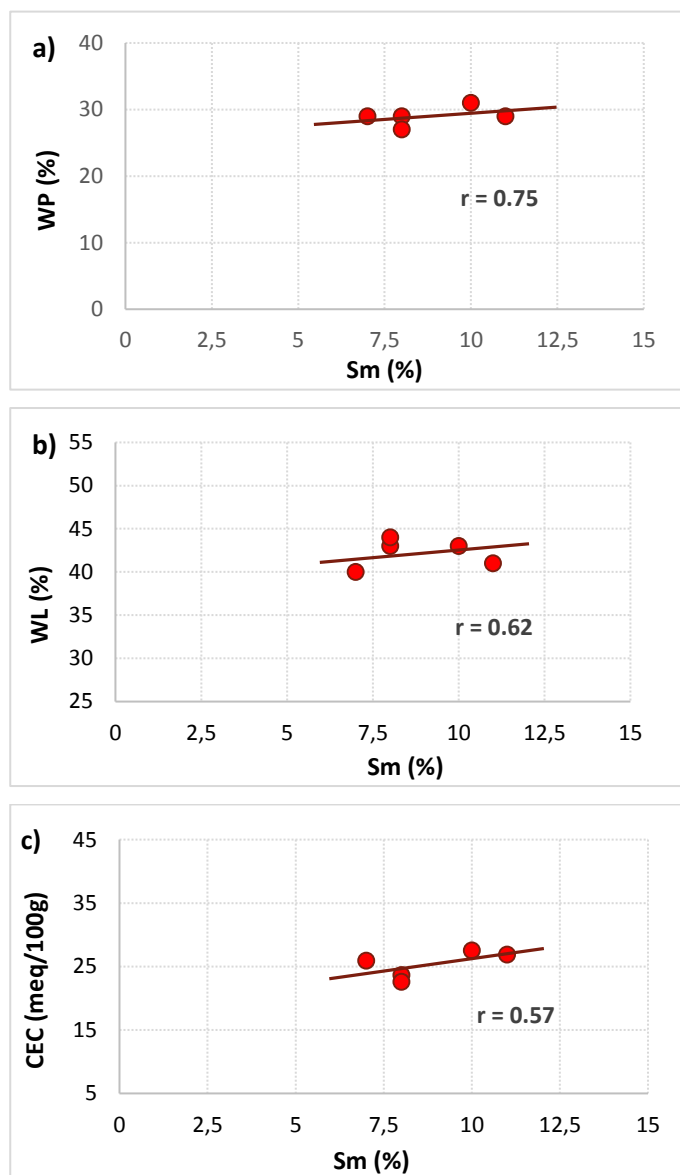
Ovakav utjecaj vermikulita na fizička svojstva može se primjetiti i kod niskoplastičnih prahova pliokvartarne starosti (slika 61). U ovim vrstama tala prisutne su velike količine vermikulita, međutim fizička svojstva kao što su granice tečenja, indeks plastičnosti i specifična površina su s njime negativno korelirani. Za razliku od smektita, vermikulit u pliokvartarnim prahovima niske plastičnosti nema značajan utjecaj na kapacitet kationske izmjene, a samim time ni na granicu plastičnosti.



Slika 61 Korelacijski dijagram vermikulita i fizičkih svojstava niskoplastičnih prahova pliokvartarne starosti (PLQ-ML): a) zavisnost granice tečenja (WL) o sadržaju vermikulita (Vr), b) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o sadržaju vermikulita, c) zavisnost specifične površine (SSA) o sadržaju vermikulita.

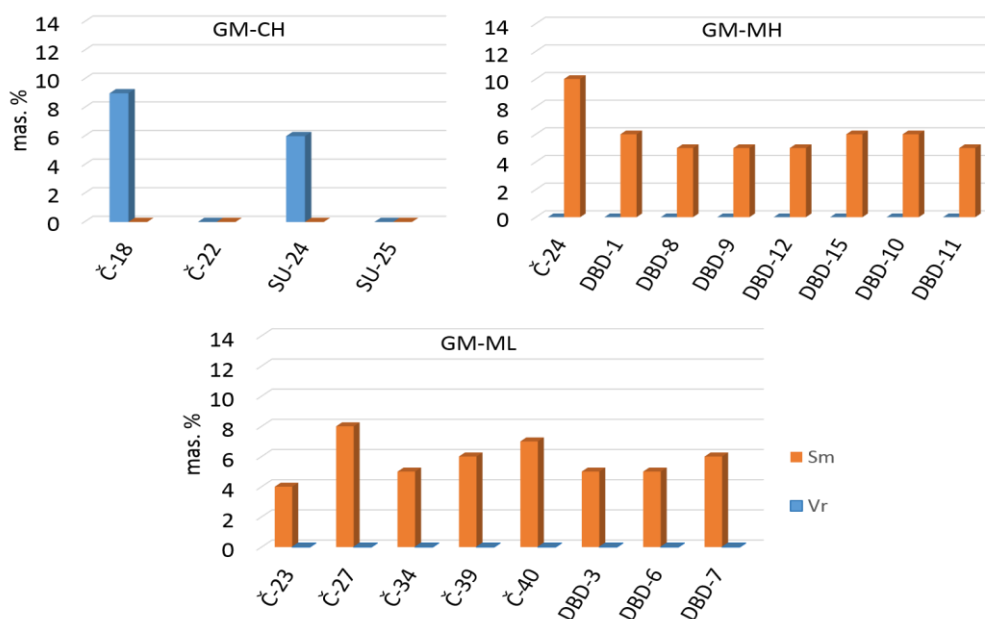
Kao i kod prethodne vrste sitnozrnastih tala, smektit je prisutan samo u nekoliko uzoraka (pet od ukupno 13 uzoraka) i u vrlo malim masenim udjelima (slika 57c). Usprkos

tome, u ovim uzorcima dokazan je utjecaj na granicu tečenja ($r = 0.75$), granicu plastičnosti ($r = 0.62$) i kapacitet kationske izmjene ($r = 0.57$) (slike 62a, 62b i 62c).



Slika 62 Korelacijski dijagram vermikulita (Vr) i fizičkih svojstava niskoplastičnih prahova pliokvartarne starosti (PLQ-ML): a) zavisnost granice tečenja (WL) o sadržaju vermikulita, b) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o sadržaju vermikulita, c) zavisnost specifične površine (SSA) o sadržaju vermikulita.

Od ekspanzibilnih vrsta minerala glina u gornjomiocenskim sitnozrnastim vrstama tla dominira smektit i to u niskoplastičnim prahovima (8 analiziranih uzoraka) i visokoplastičnim prahovima (8 analiziranih uzoraka) (slika 63b i c). Smektit je u visokoplastičnim glinama zastupljen u relativno malim udjelima, s maksimalno 10% (4 analizirana uzorka). Suprotno tome, vermikulit je prisutan jedino u visokoplastičnim glinama (slika 63a), ali, slično kao i smektit, u relativno malim udjelima (manje od 10%).

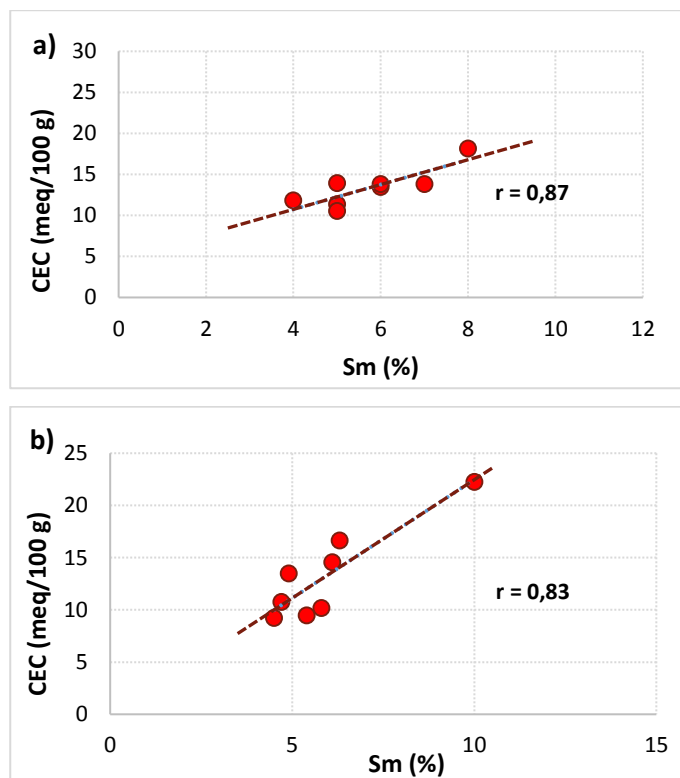


Slika 63 Maseni udjeli vermikulita i smektita u gornjomiocenskim sitnozrnastim tlima s lokacije Črešnjevec, (Č), Sjeverna ulica (SU) i Dobrodol breg (DBD) za: a) visokoplastične gline; b) visokoplastične prahove; i c) niskoplastične prahove.

Utjecaj vermikulita i smektita u uzorcima miocenskih visokoplastičnih glina (litostratigrafska jedinica Pluska) nije bilo moguće odrediti sa sigurnošću, jer je analizirano samo četiri uzorka. Naime, vermikulit je utvrđen u samo dva uzorka, dok smektit izostaje u potpunosti zbog čega korelacijski koeficijenti za ova dva minerala nisu relevantni. Na temelju provedenih korelacija nije bilo moguće utvrditi kako ova dva ekspanzibilna minerala glina utječu na fizička svojstva visokoplastičnih glina gornjomiocenske starosti. Budući da su ove gline vrlo specifične i nedovoljno istražene s obzirom na svoje porijeklo, mineralni sastav i na fizičko-mehanička svojstva, ovim istraživanjem se naglašava potreba za dodatna istraživanja.

U miocenskim prahovima niske i visoke plastičnosti od ekspanzibilnih minerala glina utvrđen je samo smektit (slika 63b i c). Prema rezultatima korelacijske analize (poglavlje 5.3.3.2., tablice 48 i 49) njegov udio u uzorku izravno utječe na kapacitet kationske izmjene. Ovakav rezultat bio je za očekivati s obzirom na specifičnu strukturu smektita i njegovu sposobnost izmjene kationa u međuslojnom prostoru. Interesantno je da udio smektita ima vrlo slab ili gotovo nikakav izravan utjecaj na ostala fizička svojstva tla, a osobito to da nema nikakav izravan utjecaj na specifičnu površinu iako su čestice smektita vrlo sitne i glavni su sastavni dio frakcije manje od 2 μm . Udio smektita je vrlo mali u uzorku, što može biti jedno objašnjenje za navedene rezultate, dok se drugo objašnjenje može povezati s načinom ispitivanja kao i sa samom prirodom smektita. Naime, smektit u odnosu na ostale minerale

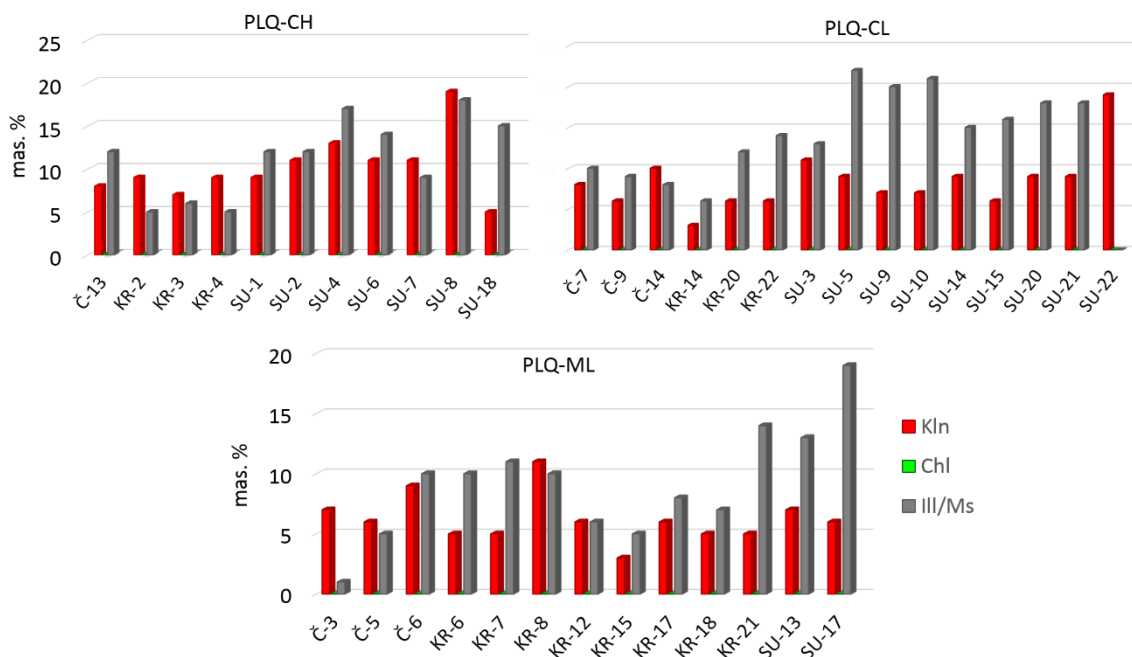
glina, ima vrlo izraženu unutarnju specifičnu površinu koja može iznositi i do 800 m²/g (Mitchell & Soga, 2005), dok mu se vanjska specifična površina, a koja se promatra u ovom radu i koja ovisi o njegovoj vanjskoj morfologiji i veličini kristala, ne mora razlikovati mnogo od drugih minerala glina koji mogu biti sastavni dio frakcije manje od 2 μm. Tome u prilog idu i rezultati korelacije između udjela smektita i CEC-a (slika 64a i b).



Slika 64 Korelacijski dijagram smektita i kapaciteta kationske izmjene u gornjomiocenskim sitnozrnastim tlima: a) zavisnost CEC-a o udjelu smektita u viskoplastičnim prahovima (GM-MH), b) zavisnost CEC-a o udjelu smektita u niskoplastičnim prahovima (GM – ML).

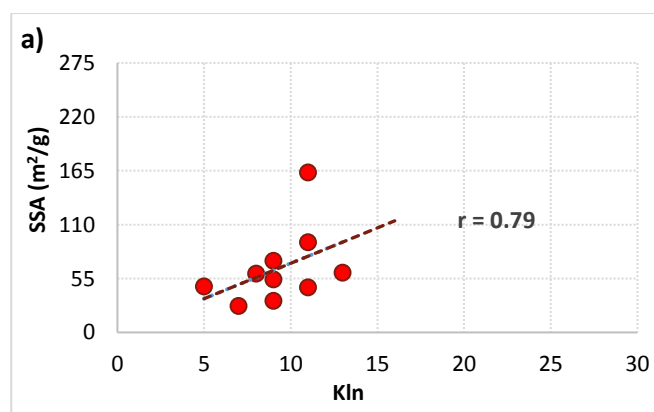
6.3.2. Neekspandibilni minerali glina

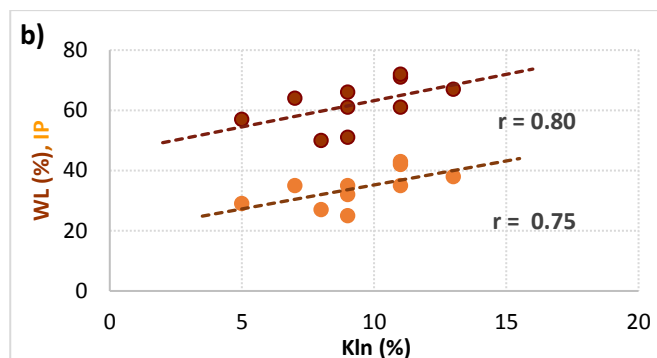
Od ostalih minerala glina koji ne pokazuju ekspandibilnost, istraživane vrste tla mogu sadržavati kaolinit, klorit te tinjčaste minerale (illit i muskovit). Uz njih u frakciji manjoj od 2 μm prisutni su feldspati i getit. U pliokvartarnim sitnozrnastim tlima kaolinit i tinjčasti minerali su prisutni u gotovo svim analiziranim uzorcima, ali nisu uvijek sastavni dio frakcije manje od 2 μm, dok klorit gotovo u potpunosti izostaje (slika 65a, b i c). Kao što je već spomenuto u jednom od prethodnih poglavlja, klorit je identificiran samo u tri uzorka s gotovo zanemarivim udjelima zbog čega ga nije bilo moguće kvantificirati zasebno, već je njegov udio pribrojen vermikulitu.



Slika 65 Maseni udjeli kaolinita (Kln) i tinjčastih minerala (Ill/Ms) u pliokvartarnim sitnozrnastim tlima: visokoplastičnim glinama (PLQ-CH), niskoplastičnim glinama (PLQ-CL) i niskoplastičnim prahovima (PLQ-ML).

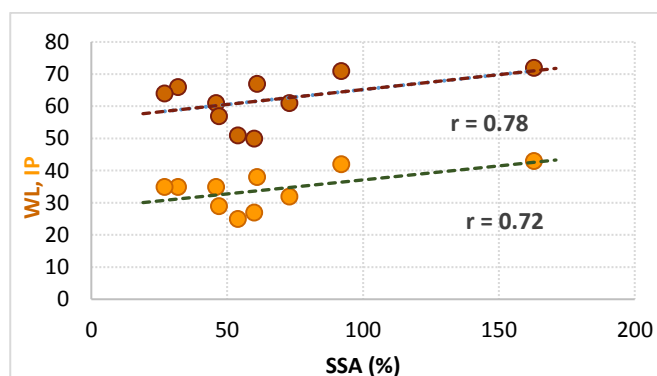
U visokoplastičnim glinama pliokvartarne starosti vrlo značajan utjecaj na fizička svojstva tla ima kaolinit. On pokazuje srednje jaku do vrlo jaku korelaciju s granicom tečenja ($r = 0.75$), specifičnom površinom ($r = 0.79$) i indeksom plastičnosti ($r = 0.80$) (slike 66a i 66b). Naime, u ovoj vrsti sitnozrnastih tala kaolinit je prisutan u dvije različite forme, kao dobrouređeni kaolinit i slabouređeni kaolinit. Navedene korelacije između relativnog udjela kaolinita i fizičkih svojstava vrlo vjerojatno su posljedice relativnog udjela slabouređenog kaolinita. U usporedbi s morfologijom dobrouređenog kaolinita, čiji kristali su ravni i glatki s relativno debljim rubovima, slabouređeni kaoliniti su uglavnom sitniji te je njihova površina neravna, a rubovi su nejednake debljine što može rezultirati povećanjem njihove specifične površine u odnosu na dobrouređeni kaolinit i do 30 % (Jianhua Du i dr., 2010).





Slika 66 Korelacijski dijagram udjela kaolinita (Kln) s fizičkim svojstvima pliokvartarnih visokoplastičnih glina (PLQ-CH): a) zavisnost specifične površine (SSA) o udjelu kaolinita b) zavisnost granice tečenja (WL) i indeksa plastičnosti (IP) o udjelu kaolinita.

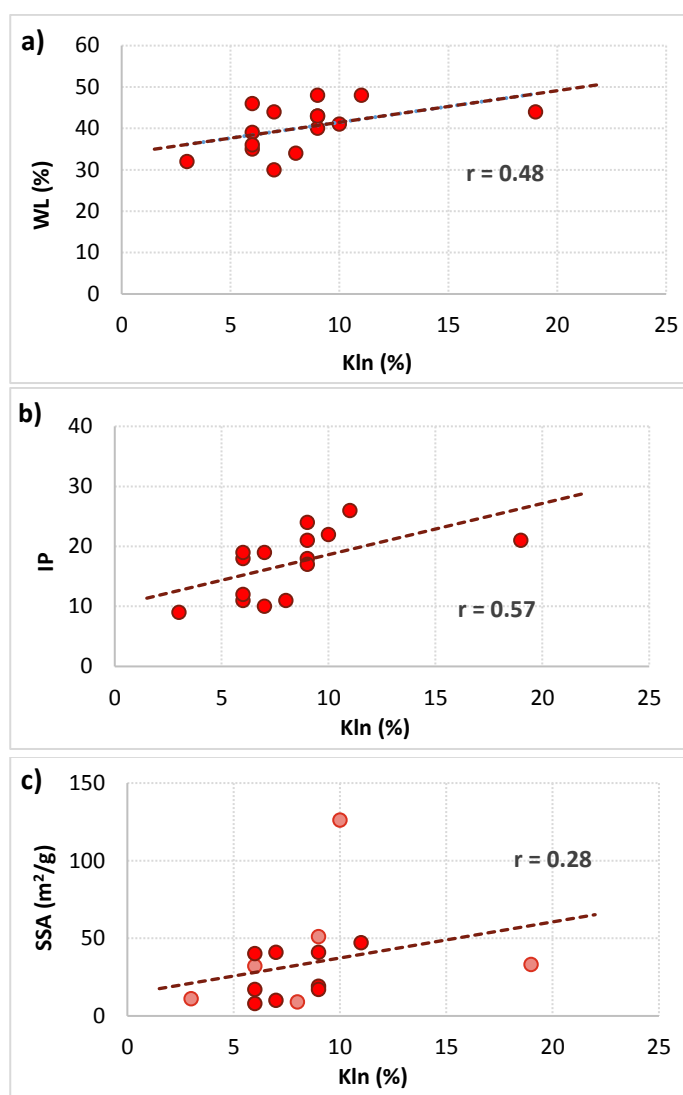
U visokoplastičnim glinama pliokvartarne starosti primjećuje se jedan uzročno-posljedični niz. S povećanjem udjela kaolinita i getita, kao sastavnog dijela frakcije manje od 2 μm (dakle vrlo sitnih dimenzija), povećava se specifična površina tla koja ukazuje na veću površinu s kojom voda dolazi u kontakt, odnosno porast kapaciteta tla za prihvata i zadržavanje vode. Ovo se odražava na povećanje granica tečenja i na plastičnost tla (indeks plastičnosti). Spomenuti odnos specifične površine tla s granicom tečenja i indeksom plastičnosti prikazan je na slici 67.



Slika 67 Korelacijski dijagram specifične površine (SSA) pliokvartarnih visokoplastičnih glina (PLQ-CH) s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP).

U niskoplastičnim glinama pliokvartarne starosti kaolinit također ima utjecaj na fizička svojstva iako u manjem omjeru nego u visokoplastičnim glinama. Kaolinit u ovim tlima pokazuje slabu do srednje jaku korelaciju s granicom tečenja ($r = 0.48$) i indeksom plastičnosti ($r = 0.57$) (slika 68a i 68b) dok sa specifičnom površinom pokazuje vrlo slabu, gotovo zanemarivu korelaciju ($r = 0.28$) (slika 68c). Ovakva slaba korelacija sa specifičnom površinom može biti rezultat neravnomjernog udjela slabouređenog i dobrouređenog kaolinita u uzorku. Na slici 68c svjetlijom bojom označeni su uzorci u kojima nije identificiran dobrouređeni kaolinit tj. sadrže samo slabouređeni kaolinit, a tamnijom bojom označeni su uzorci u kojima je uz neuređeni kaolinit identificiran i dobrouređeni kaolinit. Isto tako, u

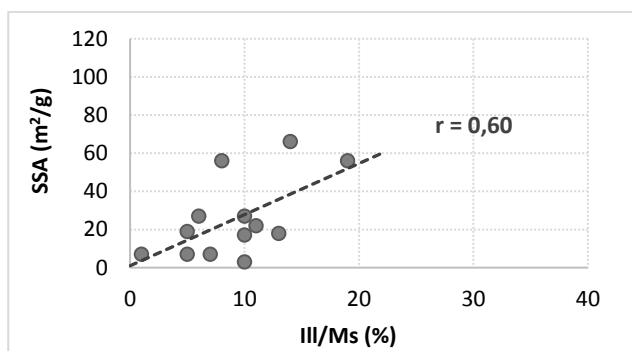
većini uzoraka ove vrste tla identificiran je dobrouređeni kaolinit koji ima manju specifičnu površinu od slabouređenog kaolinita, a zbog njegove ravne i ugladne morfologije kristali ovog tipa kaolinita imaju tendenciju sljepljivanja jedan na drugog (agregiranje) tvoreći tzv. „cvolike“ forme koje imaju manju specifičnu površinu (Mitchell & Soga, 2005; Jianhua Du i dr., 2010) što se u konačnici odražava na specifičnu površinu cijelog uzorka. Ipak, takve forme s ostalim mineralima u tlu stvaraju određen porni prostor za prihvatanje vode što se odražava na plastičnost tla, odnosno korelaciju kaolinita s granicom tečenja i indeksom plastičnosti (slika 68a i 68b).



Slika 68 Korelacijski dijagram udjela kaolinita (Kln) s fizičkim svojstvima plivkvarturnih niskoplastičnih glina (PLQ-CL): a) zavisnost granice tečenja (WL) o udjelu kaolinita; b) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o udjel kaolinita; c) zavisnost specifične površine (SSA) o udjelu kaolinita. Svjetlocrvenom bojom označeni su uzorci sa slabouređenim kaolinitom, a tamnijom bojom uzorci s dobrouređenim kaolinitom.

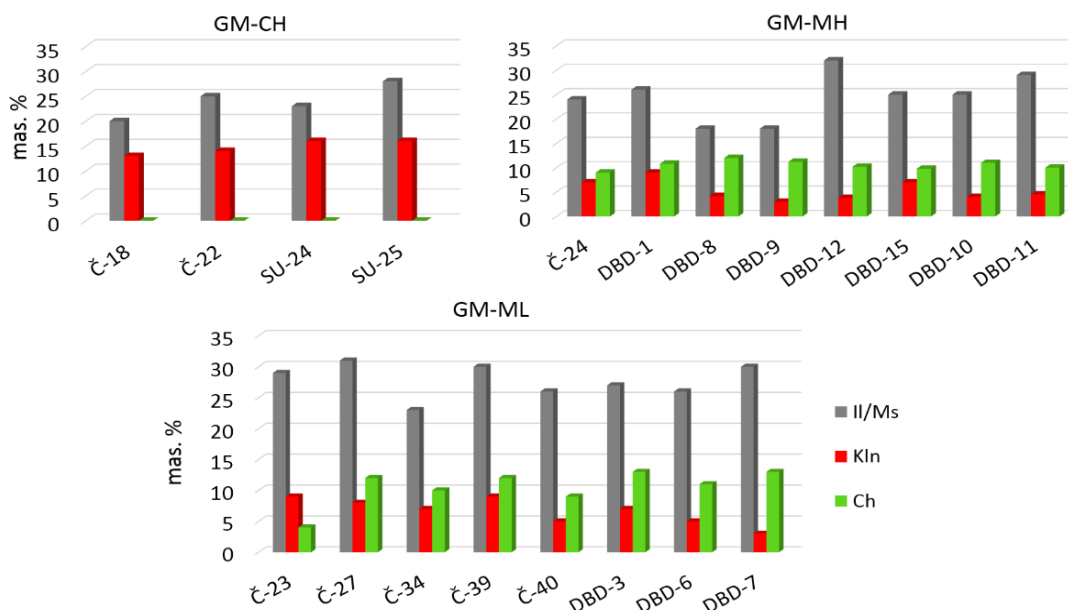
Za razliku od visokoplastičnih i niskoplastičnih glina, u niskoplastičnim prahovima plivkvarturne starosti neekspandibilni minerali glina ne pokazuju značajan utjecaj na fizička svojstva tla. To je vjerojatno posljedica prvenstveno malog udjela frakcije manje od 2 μm kao

i malog udjela neekspandibilnih vrsta minerala glina u niskoplastičnim prahovima pliokvartarne starosti. U skladu s navedenim, kaolinit ne pokazuje nikakvu vezu s fizičkim svojstvima tla. Primijećena je jedino relativno dobra korelacija tinjčastih minerala sa specifičnom površinom niskoplastičnih prahova ($r=0.60$)(slika 69) što ukazuje na to da je ipak manji dio ove mineralne vrste prisutan i u frakciji manjoj od 2 μm . U glinama niske i visoke plastičnosti pliokvartarne starosti tinjčasti minerali ne pokazuju značajnu korelaciju s fizičkim svojstvima prvenstveno zbog toga što prevladavaju u frakciji većoj od 2 μm (osobito muskovit).



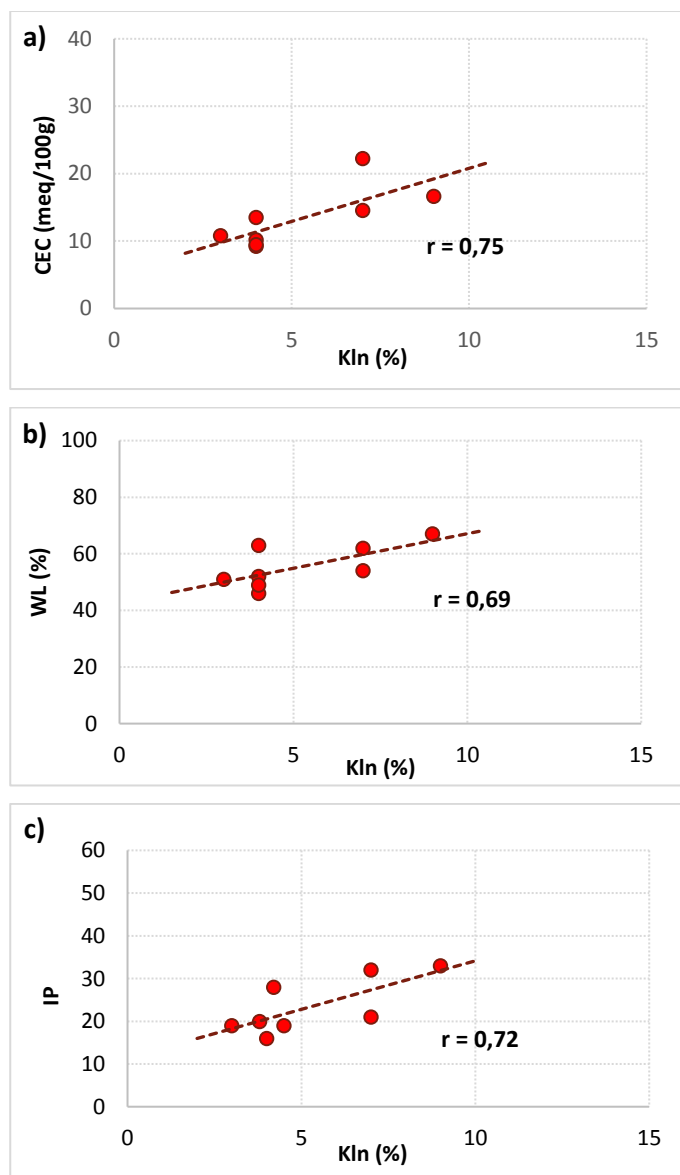
Slika 69 Korelacijski dijagram udjela tinjčastih minerala (Ill/Ms) sa specifičnom površinom (SSA) pliokvartarnih niskoplastičnih prahova.

U gornjomiocenskim vrstama sitnozrnastih tala, osim kaolinita i tinjčastih minerala, od neekspandibilnih minerala glina utvrđen je još i klorit (slika 70). U usporedbi s pliokvartarnim vrstama sitnozrnastih tala, u gornjomiocenskim vrstama tla utjecaj neekspandibilnih minerala glina je drugačiji.



Slika 70 Maseni udjeli kaolinita (Kln), tinjčastih minerala (Ill/Ms) i klorita u gornjomiocenskim vrstama sitnozrnastih tala: a) visokoplastične gline (GM-CH), b) visokoplastični prahovi (GM-MH) i c) niskoplastični prahovi (GM-ML).

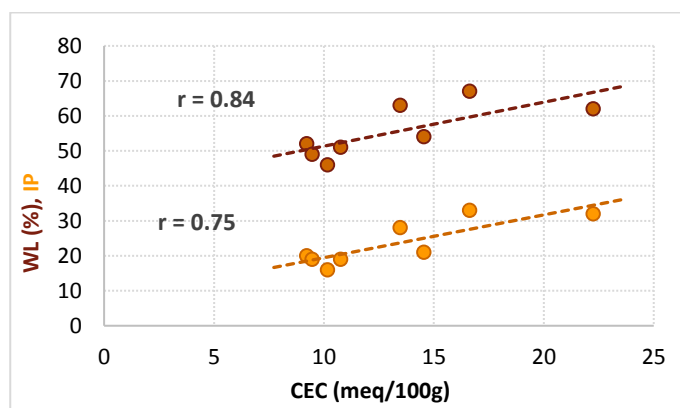
Kaolinit je i dalje mineral koji od neekspandibilnih vrsta pokazuje najjaču povezanost s fizičkim svojstvima tla. U viskoplastičnim prahovima on je vrlo dobro koreliran s kapacitetom kationske izmjene ($r = 0.75$), granicom tečenja ($r = 0.69$) i indeksom plastičnosti ($r = 0.72$) (slika 71a, b i c).



Slika 71 Korelacijski dijagram udjela kaolinita (Kln) s fizičkim svojstvima gornjomiocenskih viskoplastičnih prahova (GO-MH): a) zavisnost kapaciteta kationske izmjene (CEC) o udjelu kaolinita b) zavisnost granice tečenja (WL) o udjelu kaolinita, c) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o udjelu kaolinita.

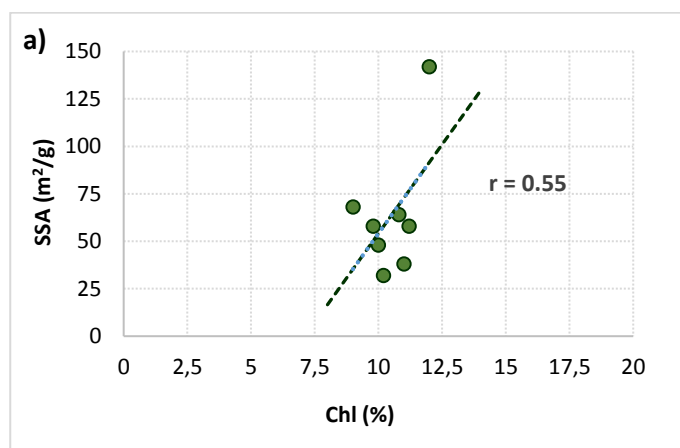
Iako je kaolinit neekspandibilni mineral, do značajnije izmjene kationa dolazi na njegovim rubovima kristala na kojima se javlja negativni naboj kao posljedica mehaničkog oštećenja kristala, a djelomično i izmjene Al/Si unutar kristalne rešetke (Velde & Meunier, 2008; Mitchell & Soga, 2005). Osim navedenog, povećana kationska izmjena kod kaolinita moguća je i ukoliko kristali kaolinita na svojoj površini sadrže tanke slojeve smektita (Ma & Eggleton,

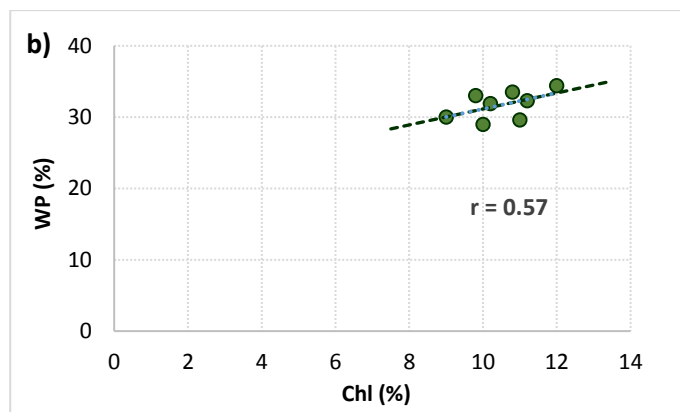
1999) što može biti slučaj i kod gornjomiocenskih prahova budući da je u njima identificiran i smektit. Osim kaolinita, na kapacitet kationske izmjene u visokoplastičnim prahovima imaju utjecaj i feldspati (što će biti detaljnije objašnjeno u sljedećem poglavlju) te naravno smektit, a kao posljedica navedenog, kapacitet kationske izmjene tla ima velik utjecaj na vezanje i zadržavanje vode u tlu te samim time i na plastičnost tla što se vidi iz vrlo dobre povezanosti CEC-a s granicom tečenja i indeksom plastičnosti (slika 72).



Slika 72 Korelacijski dijagram kapaciteta kationske izmjene (CEC) gornjomiocenskih visokoplastičnih prahova s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP).

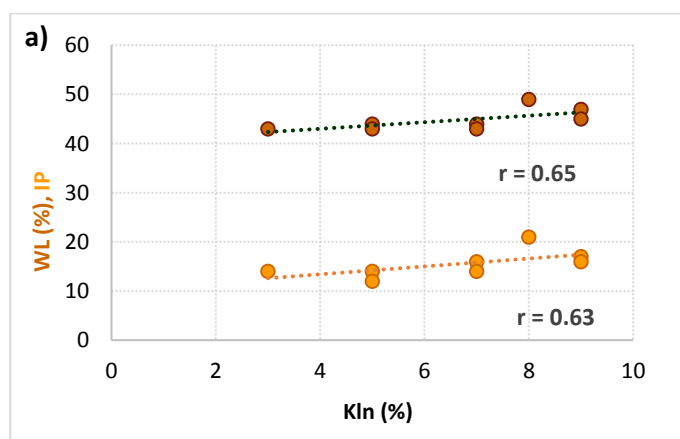
Za razliku od kaolinita, udjel klorita u uzorcima visokoplastičnih prahova utječe na specifičnu površinu tla na što ukazuje relativno dobra korelacija između klorita i SSA ($r=0.55$) (slika 73a). Osim toga, klorit pokazuje i relativno dobru korelaciju s granicom plastičnosti (slika 73b). Dobra korelacija sa specifičnom površinom znači da su kloriti relativno malih dimenzija. Takav klorit može biti prisutan u klastičnim sedimentima kao autigen tj. nastaje trošenjem već prisutnih minerala ili kao detritični materijal koji je unesen u sediment naknadno nakon taloženja procesom infiltracije u porni prostor ili posredstvom organizama (bioturbacije) (Rubinić i dr., 2014; Worden i dr., 2020).

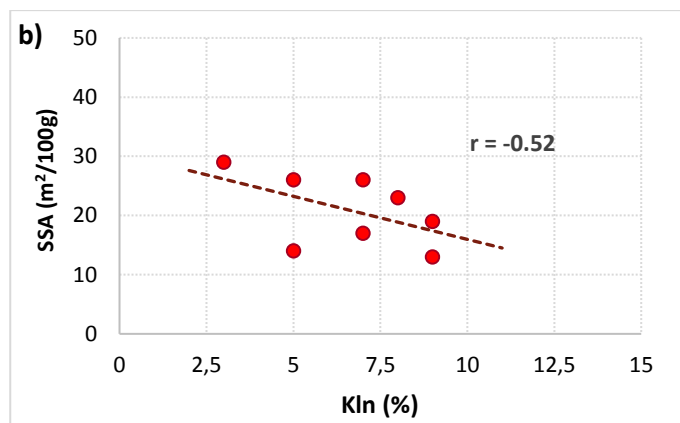




Slika 73 Korelacijski dijagram udjela klorita (Chl) s fizičkim svojstvima gornjomiocenskih visokoplastičnih prahova (GO-MH): a) zavisnost specifične površine (SSA) o udjelu klorita; b) zavisnost granice plastičnosti (WP) o udjelu klorita.

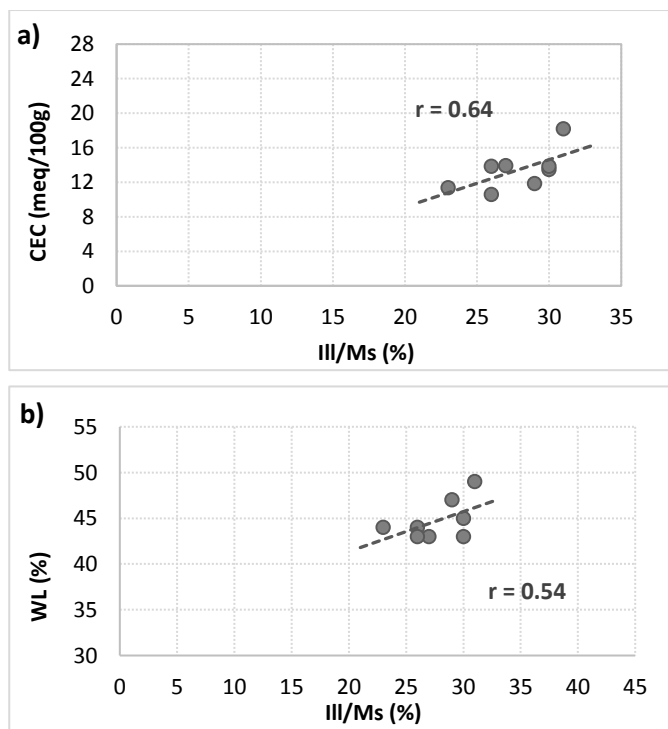
U niskoplastičnim prahovima gornjomiocenske starosti također je vidljiva relativno dobra korelacija kaolinita s granicom tečenja ($r = 0.65$) i indeksom plastičnosti ($r = 0.63$), a interesantna je i relativno dobra, ali negativna, korelacija sa specifičnom površinom tla ($r = -0.52$) (slike 74a, 74b i 74c). Naime, u gornjomiocenskim prahovima, analizom frakcije manje od $2 \mu\text{m}$ utvrđena je prisutnost dobrokristaliziranog kaolinita. Već ranije u tekstu je navedeno da je morfologija takvih kristala u odnosu na slabokristalizirani kaolinit pravilna, površina im je glatka te takvi kristali pravilne morfologije imaju tendenciju slaganja (agregiranja) jedan na drugog u smjeru osi c tvoreći „crvolike“ oblike. Takvi oblici mogu biti veličine $1\text{-}20 \mu\text{m}$ (frakcija praha) (Olivier & Sennett, 1973; Ivanić i dr., 2015; Mansa i dr., 2017), ovisno o uvjetima taloženja i udjelu kaolinita u tlu. Naravno, s povećanjem udjela kaolinita veća je mogućnost stvaranja takvih oblika čija specifična površina je manja od specifične površine pojedinog kristala kaolinita što može biti objašnjenje negativne korelacije kaolinita sa specifičnom površinom tla. Naravno, ovakve pretpostavke trebalo bi potvrditi dodatnim istraživanjima, prvenstveno snimkama uzoraka na elektronskom mikroskopu.





Slika 74 Korelacijski dijagram udjela kaolinita (Kln) s fizičkim svojstvima gornjomiocenskih niskoplastičnih prahova (GO-ML): a) zavisnost granice plastičnosti (WP) i indeksa plastičnosti (IP) o udjelu kaolinita; b) zavisnost specifične površine (SSA) o udjelu kaolinita.

Osim kaolinita, na specifičnu površinu niskoplastičnih prahova utjecaj pokazuje i klorit što se vidi iz njihove relativno dobre korelacije ($r = 0.58$), no značajniji utjecaj na ostala fizička svojstva klorit nema. Od neekspandibilnih minerala glina u gornjomiocenskom prahovima niske plastičnosti prisutna je znatna količina tinjčastih minerala. Oni pokazuju relativno dobru korelaciju s kapacitetom kationske izmjene ($r=0.64$) i granicom tečenja ($r=0.54$) (slika 75a i 75b). Kao i kod ostalih neekspandibilnih minerala, kapacitet kationske izmjene vezan je uz negativni naboj na površini minerala koji je posljedica oštećenja na rubovima kristala.



Slika 75 Korelacijski dijagram udjela tinjčastih minerala (Ill/Ms) s fizičkim svojstvima gornjomiocenskih niskoplastičnih prahova (GO-ML): a) zavisnost kapaciteta kationske izmjene tla (CEC) o udjelu tinjčastih minerala; b) zavisnost granice tečenja (WL) o udjelu tinjčastih minerala.

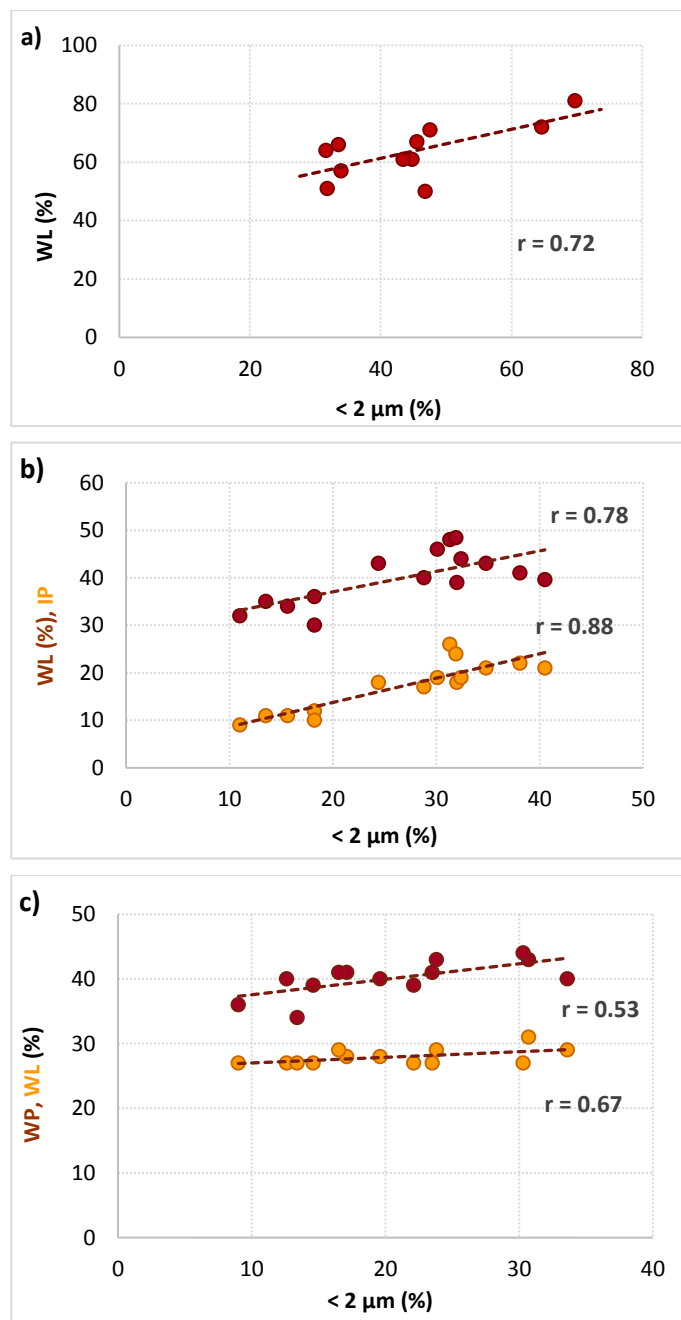
Poseban slučaj su visokoplastične gline iz jednice Pluska („crvene gline“) u kojima kaolinit (slabokristalizirani i dobrokristalizirani kaolinit) također pokazuje određenu povezanost s fizičkim svojstvima tla, prvenstveno sa SSA s kojom pokazuje pozitivnu korelaciju te granicom plastičnosti i CEC-om s kojom pokazuje vrlo značajnu negativnu korelaciju. Vrlo sličan utjecaj na CEC i granicu plastičnosti visokoplastičnih glina gornjeg miocena imaju i tinjčasti minerali. Budući da su korelacije dobivene na temelju analize samo četiriju uzoraka, korelacije su nepouzdana i bilo bi pogrešno na temelju njih navoditi bilo kakve zaključke. Ovu vrstu sitnozrnastih tala potrebno je detaljnije istražiti.

6.3.3. Frakcija manja od 2 μm i ostali minerali

Osim minerala glina u istraživanim sitnozrnastim vrstama tla utvrđeni su još neki minerali koji, ovisno o veličini njihovih kristala, mogu zajedno s mineralima glina biti sastavni dio glinovite frakcije tla. Kroz prethodna dva poglavlja prikazani su najvažniji odnosi između pojedinih minerala glina i fizičkih svojstava tla. U ovom poglavlju prikazana je zavisnost odabranih fizičkih svojstva o količini glinovite frakcije u pojedinim vrstama sitnozrnastih tala, kao i o drugim mineralima koji mogu biti sastavni dio frakcije manje od 2 μm , ali nisu minerali glina u pravom smislu riječi. To su primjerice getit, feldspati, kvarc ili kalцит .

- **Glinovita frakcija**

U visokoplastičnim glinama pliokvartarne starosti udio glinovite frakcije u uzorcima varira od minimalnih 32% do maksimalnih 70%, a prosječna vrijednost je 45%. U pliokvartarnim niskoplastičnim glinama udjel glinovite frakcije je u rasponu od minimalnih 11% do maksimalnih 34% s prosječnom vrijednosti od 27% dok je u niskoplastičnim prahovima ta vrijednost od minimalnih 9 do maksimalnih 33% s prosječnom vrijednosti od 20%. Iako glinovita frakcija u većini uzoraka nije dominantna komponenta, ipak ona zbog svog mineralnog sastava diktira ponašanje tla u dodiru s vodom. Da je to zaista tako, dokaz su vrlo dobre korelacije između udjela frakcije manje od 2 μm i fizičkih svojstava tla. Na slikama 76a, 76b i 76c prikazan je korelacijski odnos između frakcije manje od 2 μm te granice tečenja i indeksa plastičnosti za sve tri vrste pliokvartarnih sitnozrnastih tala.



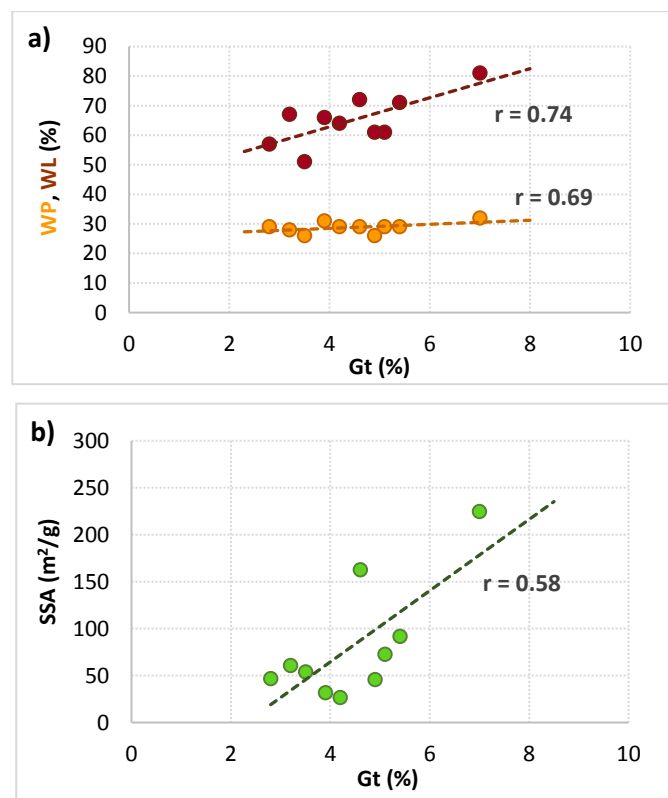
Slika 76 Grafički prikaz korelacije između udjela glinovite frakcije (< 2 μm) i granica konzistencije za pliokvartarne vrste sitnozrnastih tala: a) korelacija glinovite frakcije s granicom tečenja (WL) za visokoplastične gline, b) korelacija glinovite frakcije s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP) za niskoplastične gline, c) korelacija glinovite frakcije s granicom plastičnosti (WP) i granicom tečenja (WL) za niskoplastične prahove.

- **Getit**

Osim minerala glina na fizička svojstva pliokvartarnih sitnozrnastih tala, a osobito visokoplastičnih glina značajno utječe i getit. To je željezoviti hidroksid koji je u istraživanim tlima prisutan kao produkt trošenja i zajedno s kaolinitom čini glavni sastavni dio frakcije manje od 2 μm te zbog vrlo malih kristala, koji mogu biti i nanometarskih dimenzija (Cornell & Schwertmann, 2006), ima vrlo značajan utjecaj na specifičnu površinu tla, a posljedično i na konzistenciju tla (slike 77a i 77b).

- **Feldspati**

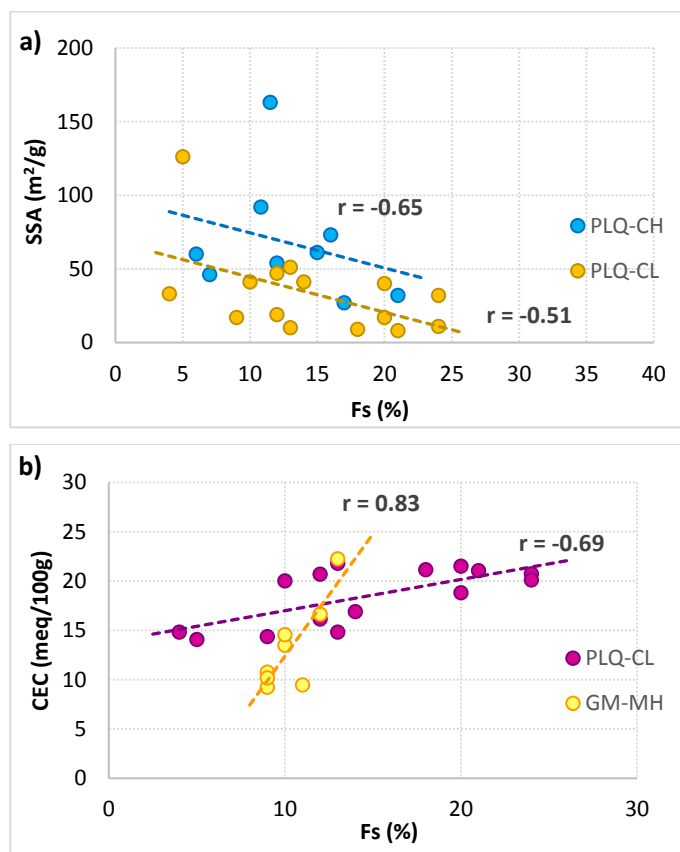
Uz getit treba spomenuti i feldspate koji, u pliokvartarnim vrstama sitnozrnastih tala, nemaju izravan utjecaj na granice konzistencije, ali utječu značajnije na vrijednosti specifične površine tla. Također, feldspati pokazuju i izražen utjecaj na kapacitet kationske izmjene u pliokvartarnim niskoplastičnim glinama i gornjomiocenskim visokoplastičnim prahovima. Korelacija sa SSA (slika 78a) je negativna što znači da se s povećanjem udjela feldspata u tlu specifična površina smanjuje, odnosno smanjenje udjela feldspata doprinosi povećanju vrijednosti specifične površine tla. Razlog tomu je promjena veličine kristala feldspata s povećanjem stupnja kemijskog trošenja tla. Naime, feldspati su u tlima, u kojima dominira kemijsko trošenje nad mehaničkim, podložni različitim procesima transformacije od čega je opće poznati proces kaolinitizacije feldspata, odnosno postupna transformacija feldspata u kaolinit (Slovenec & Bermanec, 2003). Tijekom ovog procesa istovremeno se događa smanjenje kristala feldspata, ali i smanjenje njegovog udjela na uštrb kaolinita (čiji udjel u tlu se postupno uvećava), a vrijednost specifične površine raste.



Slika 77 Korelacijski dijagram getita (Gt) i fizičkih svojstava pliokvartarnih visokoplastičnih glina: a) korelacija udjela getita s granicom tečenja (WL) i granicom plastičnosti (WP), b) korelacija udjela getita i specifične površine tla (SSA).

S druge strane kod pliokvartarnih niskoplastičnih prahova i gornjomiocenskih visokoplastičnih prahova feldspati pokazuju relativno jaku pozitivnu korelaciju s CEC-om

(slika 78b). Naime, kao i kod neubrivilih minerala glina zbog mehaničkih oštećenja rubova kristala, kao i kemijske transformacije feldspata u neki drugi mineral, ovi minerali mogu sudjelovati u kationskoj izmjeni. Povećana kationska izmjena vezana za feldspate u gornjomiocenskim vrstama tla moguća je i uslijed tankih prevlaka smektita ili illita po kristalima feldspata. To bi objasnilo i njegov relativno jaki utjecaj na granice tečenja ($R=0.67$), odnosno indeks plastičnosti ($R=0.81$) u navedenoj vrsti tla.



Slika 78 Korelacijski dijagram udjela feldspata i fizičkih svojstava tla: a) korelacija udjela feldspata sa specifičnom površinom tla (SSA) za pliokvartarne visokoplastične i niskoplastične gline, b) korelacija udjela feldspata i kapaciteta kationske izmjene (CEC) za pliokvartarne niskoplastične gline i gornjomiocenske visokoplastične prahove.

U okviru opisanog istraživanja definirana je ovisnost fizičkih svojstava i mineralnog sastava, odnosno količine glinovite frakcije sitnozrnastih tala na temelju statističkog pristupa. Kao pilot područje odabrana je podsljemenska zona grada Zagreba, smještena na južnim padinama planine Medvednice, koja je osim po geološkoj građi terena specifična i po prisutnosti različitih inženjerskogeoloških problema, od kojih je najizraženiji problem klizanja. Istraživanje je provedeno na sitnozrnastim vrstama tla gornjomiocenske starosti (20 uzoraka) i pliokvartarne starosti (39 uzoraka) koje zauzimaju oko 70% ukupne površine podsljemenske zone. Uzorci su prikupljeni iz četiri bušotine izbušene 2015 i 2016. godine na četiri različite lokacije izvedenih u okviru projekta „Detaljna inženjersko geološka karta podsljemenske zone grada Zagreba M 1: 5000 – FAZA II“. Istraživanje je provedeno u tri faze koje su obuhvatile: (1) terensko istraživanje i prikupljanje uzoraka, (2) laboratorijska ispitivanja (3) statističku obradu i analizu dobivenih podataka.

Glavni ciljevi provedenog doktorskog istraživanja bili su:

- kvantificirati fizička svojstva sitnozrnastih tala podsljemenske zone grada Zagreba na temelju laboratorijskih ispitivanja na uzorcima;
- analizirati i kvantificirati mineralni sastav cjelovitih uzoraka sitnozrnastih tala i uzoraka glinovite frakcije;

- definirati statističke odnose između fizičkih svojstava sitnozrnastih tala te vrste i relativnog udjela minerala glina u tlima.

Na ukupno 39 uzoraka tala pliokvartarne starosti svrstanih u neformalnu litostratigrafsku jedinicu *Bistra* te 20 uzoraka tala gornjomiocenske starosti svrstanih u litostratigrafske jedinice *Pluska*, *Hum Zabočki* i *Andraševac* provedena su laboratorijska ispitivanja koja su obuhvaćala određivanje granulometrijskog sastava, Atterbergovih granica (granice plastičnosti, granice tečenja i indeksa plastičnosti) i kapaciteta kationske izmjene (CEC), dok je specifična površina tla (SSA) dobivena računski iz dobivenih granulometrijskih podataka i hidrauličke vodljivosti prema Kozany-Carmanovoj jednadžbi. Na temelju podataka o granulometrijskom sastavu i granicama tečenja uzorci su klasificirani prema USCS geomehaničkoj klasifikaciji (ASTM D 2487–06, 2006). Rezultati laboratorijskih analiza sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti pokazali su da je granulometrijski sastav ovih tala vrlo različit, a razlikuje se i prema lokaciji uzorkovanja i po dubini uzorkovanja. Tla pliokvartarne starosti su uglavnom klasificirana kao visokoplastične (CH) i niskoplastične gline (CL) te niskoplastični prahovi (ML), dok su gornjomiocenska tla klasificirana kao niskoplastični i visokoplastični prahovi (ML, MH), a vrlo mali udio su visokoplastične gline (CH). S obzirom na litostratigrafsku pripadnost, niskoplastični prahovi dominiraju u jedinici *Hum Zabočki*, visokoplastični prahovi dominiraju u jedinici *Andraševac*, dok su visokoplastične gline u cijelosti zastupljene u jedinici *Pluska*. Osim utvrđenih razlika u vrstama tla, usporedbom tala pliokvartarne i gornjomiocenske starosti utvrđene su i razlike u rasponu i varijabilnosti Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti. Veliki raspon i varijabilnost u granicama tečenja i indeksu plastičnosti pokazale su pliokvartarne vrste tla. Granice tečenja su u rasponu od 7 do 104%, a vrijednosti indeksa plastičnosti kreću se u rasponu od 7 do 66%. Uspoređujući medijane i središnjih 50% izmjerenih vrijednosti pokazalo se da se gornjomiocenska tla, u odnosu na pliokvartarna, odlikuju povišenim vrijednostima Atterbergovih granica. Nadalje, između pliokvartarnih i gornjomiocenskih vrsta tla utvrđena je i razlika u kapacitetu kationske izmjene (CEC) koji se pokazao većim u pliokvartarnim vrstama tla (vrijednosti središnjih 50% ispitanih PLQ uzoraka variraju od 18 do 24 meq/100g, a vrijednosti središnjih 50% uzoraka GM uzoraka variraju od 11 do 15 meq/100g). Za razliku od CEC-a, prosječne vrijednosti specifične površine tla (SSA) su veće u gornjomiocenskim tlima (vrijednosti središnjih 50% ispitanih PLQ uzoraka varira od 20 do 50 m²/g, a vrijednost središnjih 50% ispitanih GM uzoraka se kreće u rasponu od 25 do 60 m²/g), dok su u pliokvartarnim tlima veći rasponi.

Na uzorcima pliokvartarne (39 uzoraka) i gornjomiocenske starosti (20 uzoraka) analiziran je i mineralni sastav primjenom metode rendgenske difrakcije na prahu primjenom rendgenskog difraktometra. Laboratorijske metode su obuhvaćale kvalitativnu analizu orijentiranih uzoraka frakcije manje od 2 μm , kojom su određene vrste minerala glina i kvalitativnu analizu globalnih praškastih uzoraka kojom su određeni i ostali minerali uglavnom zastupljeni u krupnijim frakcijama. Rezultati ovih dviju kvalitativnih analiza poslužili su kao ulazni podatak za kvantitativnu analizu kojom su dobiveni maseni udjeli svih identificiranih vrsta minerala na razini cjelokupnog uzorka. Analizom dobivenih podataka utvrđeno je da se istraživana pliokvartarna i gornjomiocenska sitnozrnasta tla razlikuju i na osnovu mineralnog sastava. Glavne mineralne vrste, promatrajući cjelokupne uzorke u pliokvartarnim tlima, su kvarc, feldspati i minerali glina, dok su kao sporedne vrste (u manjim udjelima) prisutni amfiboli i getit. U gornjomiocenskim vrstama tla glavne mineralne vrste su kvarc i minerali glina, dok su kao sporedne vrste prisutni feldspati, kalcit, dolomit i getit. U ovom istraživanju poseban naglasak je stavljen na vrste minerala glina u tlima, odnosno njihovu zastupljenost i udjele u pojedinim stratigrafskim jedinicama. Analizom frakcije manje od 2 μm identificirani su vermikulit, smektit, kaolinit (dobrokristalizirani i slabokristalizirani), tinjčasti minerali (illit i muskovit) te klorit. Uz vermikulit i smektit utvrđen je i ekspanzibilni 14 Å mineral koji se nakon primijenjenih tretmana razlikuje od vermikulita i smektita. Koristeći jednostavne statističke testove (t-test i analiza varijance) kao i diskriminantnu analizu utvrđeno je da se istraživane vrste tla međusobno razlikuju i prema zastupljenosti i prema udjelima minerala glina. Osobite razlike su uočene u udjelima vermikulita i smektita (ekspanzibilnih vrsta minerala glina), klorita te tinjčastih minerala. Prema navedenom, zastupljenost i maseni udjeli vermikulita u PLQ tlima daleko su veći od onih utvrđenih u GM tlima. Naime, u GM tlima vermikulit je identificiran samo u uzorcima jedinice Pluska. Za razliku od vermikulita, smektit je u PLQ tlima zastupljen u vrlo malom broju uzoraka i s vrlo malim udjelima, dok je u GM tlima smektit prisutan u svim uzorcima jedinice Hum Zabočki i Andraševac, ali su njegovi udjeli manji u odnosu na PLQ tla. U jedinici Pluska smektit potpuno izostaje. Isto tako, klorit je utvrđen u svim vrstama GM tala (osim u uzorcima jedinice Pluska), dok u PLQ tlima on potpuno izostaje. Tinjčasti minerali prisutni su i u PLQ i u GM tlima s time da je udio tinjčastih minerala znatno veći u miocenskim vrstama tla. Što se tiče kaolinita, njegovi udjeli u PLQ i GM tlima su podjednaki, međutim glavna razlika između pliokvartarnih i gornjomiocenskih tala vidljiva je u zastupljenosti pojedinih vrsta kaolinita koje su identificirane na temelju analize frakcije manje od 2 μm . U PLQ tlima zastupljen je slabokristalizirani kaolinit, dok je u GM tlima zastupljen dobrokristalizirani kaolinit.

Sljedeći korak u analizi dobivenih podataka bio je utvrditi razliku u mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima između četiri *a priori* postavljene grupe tla na osnovu geomehaničke klasifikacije (ML, MH, CL, CH) i stratigrafske pripadnosti. Za to je korištena diskriminantna analiza koja je temeljena na izračunavanju niza linearnih kombinacija promatranih varijabli (u ovom slučaju varijabli koje označavaju fizička svojstva i varijabli koje označavaju mineralni sastav) uz uvjet da se centriodi promatranih grupa međusobno što više razlikuju. Oblikovana su tri diskriminantna modela (poglavlje 5.3.2.) te je korišteno ukupno 19 varijabli (9 varijabli koje predstavljaju fizička svojstva tla i 10 varijabli koje predstavljaju mineralni sastav). Prvim diskriminantnim modelom utvrđene su čvrste razlike u mineralnom sastavu tla i fizičkim svojstvima, ovisno o pripadnosti neformalnim litostratigrafskim jedinicama. Tu se posebno izdvajaju sitnozrnasta tla jedinice *Pluska* koja, prema fizičkim svojstvima i mineralnom sastavu, pokazuju sličnost s pliokvartarnim vrstama tla, a ne s gornjomiocenskim kako je pretpostavljeno. Nadalje, drugim diskriminantnim modelom utvrđene su razlike u mineralnom sastavu tala i fizičkim svojstvima, ovisno o geomehaničkoj vrsti tla. Razlike u fizičkim svojstvima i mineralnom sastavu su vidljive, ali one nisu tako oštro primjetne kao kod prvog diskriminantnog modela. Trećim diskriminantnim modelom pokazano je da su najveće razlike u fizičkim svojstvima i mineralnom sastavu izražene ukoliko se u obzir uzme i geomehanička vrsta tla i njihova relativna starost.

Kako bi se utvrdilo utječu li minerali glina i na koji način na fizička svojstva sitnozrnastih tala provedene su korelacijske analize na uzorcima tala koja su prethodno klasificirana prema relativnoj geološkoj starosti i geomehaničkoj klasifikaciji. Pokazalo se da najveći utjecaj na fizička svojstva sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti ima vermikulit. U visokoplastičnim glinama vermikulit je glavni mineral o kojem ovisi plastičnost tla. Težinski udio vermikulita u visoko plastičnim tlima pliokvartarne starosti pokazuje čvrstu korelaciju s granicom plastičnosti. Ovakav utjecaj najvjerojatnije je posljedica kationske izmjene koja se dešava na rubovima čestica vermikulita i u međuslojnom prostoru, a na što upućuje istovremena korelacija vermikulita s CEC-om. Osim vermikulita, kao bubrivog minerala, na fizička svojstva visokoplastičnih glina imaju utjecaj i neekspandibilni minerali glina od čega se ističu kaolinit i getit koji pokazuju vrlo jak utjecaj na vrijednosti specifične površine, odnosno vrijednosti granice tečenja i indeksa plastičnosti. Radi se o slabokristaliziranom kaolinitu koji je karakterističan po česticama vrlo malih dimenzija i velike specifične površine. U niskoplastičnim glinama i prahovima pliokvartarne starosti na povećanje

vrijednosti granica plastičnosti utječe smektit. Iako vermikulita količinski ima mnogo, on pokazuje negativnu korelaciju s granicom tečenja, specifičnom površinom i indeksom plastičnosti, odnosno s porastom udjela vermikulita vrijednosti fizičkih svojstava se smanjuju i obrnuto. Razlog tome je trošnost vermikulita s kojom je povezana i veličina čestica minerala. Naime, s porastom intenziteta trošenja, čestice vermikulita se smanjuju te postupno dolazi do transformacije u smektit ili kaolinit zbog čega se smanjuje i njegov udio. U visokoplastičnim i niskoplastičnim prahovima gornjomiocenske starosti izravan utjecaj na granice tečenja i indeks plastičnosti ima kaolinit (neekspandibilni mineral glina) te feldspati. Sadžaj smektita ne pokazuje izravan utjecaj na fizička svojstva tla kao što su granice tečenja, granice plastičnosti ili specifična površina, već neizravno, preko kapaciteta kationske izmjene djeluje na povećanje vrijednosti granica tečenja i indeksa plastičnosti. Osim smektita, djelomičan utjecaj na specifičnu površinu ima klorit koji je zapravo glavni sastojak frakcije manje od 2 μm te koji ima veliku specifičnu površinu zbog malih dimenzija. Osim minerala glina, na određena fizička svojstva tla utjecaj može imati i količina glinovite frakcije u tlu, kao i drugi minerali koji su uz minerale glina često sastavni dio frakcije manje od 2 μm . Primjerice, getit zbog relativno malih dimenzija kristala može imati izražen utjecaj na specifičnu površinu tla, a time i na konzistenciju tla. Na navedena svojstva i na kapacitet kationske izmjene izražen utjecaj imaju i feldspati, što je u pliokvartarnim glinama posljedica dominantnosti kemijskog trošenja nad mehaničkim. U gornjomiocenskim prahovima prisutnost feldspata je posljedica dominantnog mehaničkog trošenja i oštećenja koja nastaju na rubovima kristala. Osim toga, smektiti u tlu gornjomiocenske starosti mogu egzistirati kao tanke prevlake na kristalima feldspata.

U skladu s preliminarnim istraživanjima koja su prethodila izradi ove disertacije postavljene su četiri glavne hipoteze od kojih su neke u potpunosti potvrđene, a neke su potvrđene djelomično.

Hipoteza da je relativna zastupljenost pojedinih vrsta minerala glina u sitnozrnastim tlima pliokvartarne i gornjomiocenske starosti podsljemenske zone grada Zagreba različita je u potpunosti potvrđena jednostavnim statističkim testovima kao i diskriminantnim analizama. Provedenim istraživanjima je dokazano da je zastupljenost pojedinih minerala glina zaista različita s obzirom na pripadnost neformalnim litostratigrafskim jedinicama prema i na geomehaničku vrstu tla. Od minerala glina u pliokvartarnim vrstama tla najviše su zastupljeni vermikulit i slabokristalizirani kaolinit, dok su smektit i klorit zajedno sa dobrokristaliziranim kaolinitom dominantni u gornjomiocenskim vrstama tla.

Hipoteza da u sitnozrnastim tlima pliokvartarne starosti najveći utjecaj na veliku specifičnu površinu te vrijednosti Atterbergovih granica imaju vermikuliti, a u sitnozrnastim tlima gornjomiocenske starosti smektiti samo je djelomično potvrđena. Istraživanjem je utvrđeno da vermikulita ima najviše u pliokvartarnim sitnozrnastim tlima u kojima on, prema rezultatima korelacijske analize ima utjecaj na Atterbergove granice. U visokoplastičnim glinama (PLQ-CH) dokazano je da vermikulit ima utjecaj na granicu plastičnosti, a u niskoplastičnim glinama i prahovima (PLQ-CL, PLQ-ML) ima utjecaj na granicu tečenja i indeks plastičnosti. Utjecaj na SSA utvrđen je samo u PLQ-CL i PLQ-ML, dok je korelacija sa SSA u visokoplastičnim glinama zanemariva. Iz ovoga proizlazi da je dio hipoteze koji se odnosi na utjecaj vermikulita na Atterbergove granice u pliokvartarnim tlima potvrđen u potpunosti, ali da utjecaj vermikulita na specifičnu površinu nije potvrđen za gline visoke plastičnosti. Razlog zbog čega se smatra da je ova hipoteza djelomično potvrđena je i utjecaj smektita na fizička svojstva tla. Smektit je najzastupljeniji u gornjomiocenskim vrstama tla (GM-ML, GM-MH), no ima ga i u nekoliko uzoraka pliokvartarnih vrsta tla (PLQ-CL, PLQ-ML) u kojima pokazuje vrlo dobru korelaciju s granicom plastičnosti i CEC-om. U gornjomiocenskim prahovima niske i visoke plastičnosti smektit ne pokazuje nikakav utjecaj na Atterbergove granice i SSA, već samo na CEC. Dakle, ovim istraživanjem potvrđeno je da na SSA i Atterbergove granice pliokvartarnih sitnozrnastih tala utjecaj nema samo vermikulit, već i smektit, dok smektit u gornjomiocenskim vrstama tala uvjetno nema nikakvi utjecaj na SSA i Atterbergove granice. Budući da je metoda primijenjena za određivanje SSA nepouzdana, zaključuje se da je potrebno odrediti SSA za to predviđenim laboratorijskim postupcima kako bi se mogle provesti daljnje analize utjecaja smektita na tla gornjomiocenske starosti, ali i evaluirati utjecaj na SSA u tlima pliokvartarne starosti.

Hipoteza da veliku specifičnu površinu te visoke vrijednosti Atterbergovih granica mogu imati i sitnozrnasta tla koja ne sadrže bubrivu vrstu minerala glina je u potpunosti dokazana za gornjomiocenske visokoplastične gline u kojima su ekspanzibilni minerali (vermikulit) prisutni u tragovima, a prevladavaju neekspanzibilni minerali kaolinit, klorit i tinjčasti minerali. Navedeni minerali, među kojima se posebno ističe kaolinit, pokazuju vrlo dobru korelaciju sa granicom plastičnosti i SSA. Ipak, ove korelacije nisu potpuno pouzdane jer se radi o korelacijama dobivenim na temelju ispitivanja samo četiriju uzoraka. Budući da su korelacije neububrivih minerala glina s Atterbergovim granicama i SSA u drugim vrstama sitnozrnastih tala također vrlo dobre, a ponegdje i bolje od korelacija ekspanzibilnih minerala glina i fizičkih svojstava, može se zaključiti da je ova hipoteza potvrđena. Iz ovoga proizlazi

glavni zaključak da osim ekspandibilnih minerala glina, utjecaj na Atterbergove granice i SSA sitnozrnastih tala mogu imati i neekspandibilni minerali glina.

Hipoteza da je zavisnost fizičkih svojstava tla o količini i mineralnom sastavu glinovite frakcije u tlu moguće opisati statističkim modelima u potpunosti je dokazana te se može na temelju dobivenih rezultata zaključiti da je korelacijski model vrlo prikladan i jednostavan statistički alat kojim se može objasniti međusobna zavisnost fizičkih svojstava tla o količini i mineralnom sastavu glinovite frakcije u tlu.

Doktorskim istraživanjem opisanim u ovom radu ostvareni su sljedeći znanstveni doprinosi:

- doprinos definiranju i poznavanju mineralnog sastava sitnozrnastih vrsta tala pliokvartarne i gornjomiocenske starosti u podsljemenskoj zoni grada Zagreba;
- doprinos interpretaciji utjecaja pojedinih minerala glina i udjela glinovite frakcije na fizička svojstva sitnozrnastih tala podsljemenske zone grada Zagreba;
- doprinos razvoju metode za definiranje ovisnosti fizičkih svojstava i mineralnog sastava, odnosno količine glinovite frakcije sitnozrnastih tala podsljemenske zone grada Zagreba na temelju statističkog pristupa.

S obzirom na rezultate dobivene u okviru ovog doktorskog istraživanja neke od hipoteza su potvrđene djelomično te su za njihovu potpuniju interpretaciju potrebna dodatna istraživanja. Naime, zbog relativno malog broja uzoraka unutar svake grupe sitnozrnastih tala, postignuti statistički odnosi između mineralnog sastava i analiziranih fizičkih svojstava (granulometrijski sastav, Atterbergove granice, indeks plastičnosti, CEC i SSA) ne mogu se generalizirati za područje cijele podsljemenske zone te je svakako potrebno istraživanje nadopuniti ispitivanjima na većem broju uzoraka istovrsnih vrsta tala sa šireg područja podsljemenske zone. Ispitivanja bi trebala uključiti preciznije određivanje granulometrijskog sastava sitne frakcije laserskim difraktometrom, određivanje ukupne specifične površine tla (a ne samo vanjske specifične površine), određivanje mineralnog sastava i kvantitativnog udjela minerala ne samo cjelokupnog uzorka već i pojedinih frakcija, mikroskopiranje skenirajućim elektronskim mikroskopom kojim bi se dobio uvid u veličine minerala, njihovu morfologiju, međusobnu povezanost te oblik pornog prostora koje čestice minerala međusobno zatvaraju. Ovakva precizna istraživanja dala bi doprinos boljem i potpunijem razumijevanju fizičkih svojstava tla, što je nužno da bi se mogla koncipirati daljnja istraživanja mehaničkih svojstava. Za istraživanje utjecaja minerala glina i glinovite frakcije sitnozrnastih tala na već spomenuta fizička svojstva tla potrebno je raspolagati i s većim brojem geomehaničkih ispitivanja.

8. LITERATURA

Ammann, L., Bergaya, F. & Lagaly, G. (2005): Determination of the cation exchange capacity of clays with copper complexes revisited. *Clay Minerals*, 40, 4, 441-453.

Aitchison, J. (1982): The statistical analysis of compositional data (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Statistical Methodology)*, 44, 2, 139 – 177.

Aitchison, J. (1986): *The Statistical Analysis of Compositional Data*. Monographs on Statistics and Applied Probability, Chapman & Hall, 416 str., London

ASTM D422-63 (1998); Standard Test method for Particle-Size Analysis of Soils; ASTM International, West Conshohocken, US.

ASTM D422 - 63 (2007)e2, 2007. Standard Test Method for Particle - Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, USA.

ASTM D 2487 - 06. (2006). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken, US: ASTM International.

ASTM D 4318 - 10, 2010. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, USA.

Atterberg, A. (1911): Die plastizität der tone. *Intern Mitteil Bodenkunde*, 1, 4-37

Avanić, R., Bakrač, K., Grizelj, A., Wacha, L., Šimić-Stanković, M., Hećimović, L., . . . Kruk, B. (2006): Ivošević Gaj ceramic clay deposit in the vicinity of Vojnić. 3rd Mid-European Clay Conference, Field Trip Guidebook September 18-23, Opatija, Faculty of Science & Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering University of Zagreb, 39-47.

Bakrač, K. & Koch, G. (1999): A palynological contribution to the Quaternary deposits in the wider area of Zagreb, *Acta Paleobotanica – Supplementum*, 2, 467 – 469.

Barcello-Vidal, C., Pawlowsky-Glahn, V., Grunsky, E. (1996): Some aspects on transformations of compositional data and the identification of outliers. *Mathematical Geology*, 28, 501-518.

Barton, C.D. & Karathanasis, A.D. (2002): Clay Minerals. U Lal, R. (ed.), *Encyclopedia of Soil Science*, 2nd ed., Taylor & Francis Group, New York-London, 276-281.

Basch, O. (1983). Osnovna geološka karta 1:100 000 - Tumač za list Ivanić Grad (L33-81). Savezni geološki zavod, Beograd.

Bergaya, F. & Vayer, M. (1997): CEC of clays: Measurement by adsorption of a copper ethylenediamine complex. *Applied Clay Science*, 12(3), 275-280.

Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Mihalić Arbanas, S. (2019): Verification of historical landslide inventory maps for the Podsljeme area in the City of Zagreb using LIDAR-based landslide inventory. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 34, 1, 45 – 58.

Brigatti, M., Galan, E., & Theng, B. (2006): Structures and Mineralogy of Clay Minerals. U: F. Bergaya, B. Theng, & G. Lagaly: *Handbook of Clay Science*. Elsevier, Amsterdam, 19-86.

Campbell, G.S. & Campbell, M.D. (1982): Irrigation scheduling using soil moisture measurement: theory and practice. *Advances in irrigation*, 1, 25 – 42.

Carter, D.L., Mortland, M.M. & Kemper, W.D. (1986): Specific Surface. U: Clute, A.: *Methods of Soil Analysis - Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy, 677 str.

Cerato, A.B. (2001): Influence of Specific Surface Area on Geotechnical Characteristics of fine - grained soils. Master of Science Project, University of Massachusetts, Massachusetts, 235 str.

Chapuis, R.P. (2012): Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: a review. *Bulleten of Engineering Geological Environmental*, 71, 401-434.

Chamley, H., (1989) *Clay Sedimentology*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, New York, 623 str.

Cornell, R.M. & Schwertmann, U. (2003): *The Iron Oxides – Structure, properties, reactions, occurrences and uses*. Willy-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 663 str.

Daunis-i-Estadella, J., Thio-Henestrosa, S., Mateu-Figueras, G. (2011): Including supplementary elements in a compositional biplot. *Computers & geosciences*, 37, 5, 696 – 701.

Davidson, D.T. & Handy, R.L. (1953): Studies of the clay fraction of southwestern Iowa loess. *Clays and Clay Minerals*, vol. 2 (1), 190-208.

Davis, J., (1986): *Statistics and data analysis in geology*. John Wiley & Sons. New York, 656 str.

Dolar, B., & Mišič, M. (2005): Interaction between mineral composition, water content and mechanical properties of saturated cohesive soils. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 52, 2, 419-428.

Dolar, B. (2009): Predicting the hydraulic conductivity of saturated clays using plasticity - value correlations. *Applied Clay Science*, 45, 90-94.

Dolar, B. (2010): Predicting the normalized, undrained shear strength of saturated fine - grained soils using plasticity – value correlations. *Applied Clay Science*, 47, 3, 428-432.

Dolar, B. & Škrabl, S. (2013): Atterberg limits in relation to other properties of fine grained soils. *Acta Geotechnica Slovenica*, 2013/2, 5-13.

Dumbleton, M.J., & West G. (1966): Some factors affecting the relation between the clay minerals in soils and their plasticity, *Clay minerals*, 6, 179-193.

Durn, G. (1996): *Podrijetlo, sastav i uvjeti nastanka terra rosse Istre*. Neobjavljena doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 204 str.

Durn, G., Ottner, F. & Slovenec, D., (1999): Clay minerals as an indicator of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. *Conference of the European Clay Groups Association – Book of Abstracts*, 5-9.9. 1999, Krakow, 80-80.

Durn, G., Stummeyer, J., Ottner, F. & Medimurec Gaurina, N., (2015): Mineralogy and geochemistry of soils/paleosoils formed in contrasting pedoenvironments (oxidizing vs. reducing) on pure cretaceous limestones in Istria-Croatia. *Proceedings of International Applied Geochemistry Symposium*, International Association of Applied Geochemistry, Tucson, 1-12.

Eberl, D., (2003): *User's guide to RockJock - a program for determining quantitative mineralogy from x-ray diffraction data*. Open file report 03-78, USGS, Boulder, Colorado, 47 str.

- Egozcue, J.J., Pawlowsky-Glahn, V., Mateu-Figueras, G., Barcelo-Vidal, C. (2003): Isometric logratio transformations for compositional data analysis: *Mathematical Geology*, 35, 279 – 300.
- Egozcue, J.J. & Pawlowsky-Glahn, V. (2005): Groups of parts and their balances in compositional data analysis. *Mathematical Geology*, 37, 7, 795 – 828.
- Fam, M., & Dusseault, M. (1999): Determination of the reactivity of clay - fluid systems using liquid limit data. *Canadian Geotechnical Journal*, 36, 161-165.
- Farrar, D.M., Coleman, J.D. (1967): The Correlation of Surface Area with other properties of nineteen British Clay Soils. *Journal of Soil Science*, 18, 118-124.
- Garcia, S. & Camazano, M., (1968): Diferentiation of kaolinite from chlorite by treatment with dimethyl - sulfoxide. *Clay minerals*, 7, 447-450.
- Ghabru, S., Mermut, A. & Arnaud, R., (1989): Layer charge and cation-exchange characteristics of vermiculite (weathered biotite) isolated from a gray luvisol in northeastern Saskatchewan. *Clays and clay minerals*, 37,2, 164-172
- Grim, R.E. (1962): *Applied Clay Mineralogy*. New York: McGraw – Hill, 422 str..
- Grizelj, A. (2008): Mineraloške i geokemijske značajke miocenskih pelitnih sedimenata jugozapadnog dijela Panonskog bazena. Neobjavljena doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, 192. str.
- Grizelj, A., Peh, Z., Tibljaš, D., Kovačić, M., & Kurečić, T. (2017a). Mineralogical and geochemical characteristics of Miocene pelitic sedimentary rocks from the south-western part of the Pannonian Basin System (Croatia): Implication for provenance studies. *Geoscience frontiers*, 8,1,65-80.
- Grizelj, A., Bakrač, K., Horvat, M., Avanić, R., Hećimović, I. (2017b): Occurrence of vivianite in alluvial Quaternary sediments in the area of Sesvete (Zagreb, Croatia), *Geologia Croatica*, 70, 1, 41 – 52.
- Guggenheim, S., Adams, J., Bain, D., Bergaya, F., Brigatti, M., Drits, V., . . . Stanjek, H. (2006). Summary of Recommendations of Nomenclature Committees Relevant to Clay Mineralogy; Report of the AIPEA Nomenclature Committee for 2006. *Clay and Clay Minerals*, 54/6, 761-772.
- Haris, W., & White, N.G. (2008): X-ray Diffraction Techniques for Soil Mineral Identification. U: A. Ulery, & R. Drees: *Methods of Soil Analysis Part 5 - Mineralogical Methods* (81-115). Soil Science Society of America (SSSA), Madison, Wisconsin, USA.

Hasan, O., Miko, S., Ilijanić, N., brunović, D., Dedić, Ž., Miko Šparica, M., Peh, Z. (2020): Discrimination of topsoil environments in a karst landscape: an outcome of a geochemical mapping campaign. *Geochemical transactions*, 21, 1, 1 – 22. <https://doi.org/10.1186/s12932-019-0065-z>.

Haufler, P., Starkey, H., Blackmon, P., & Pevear, D. (1984): Sample preparation for the analysis of clay minerals by X-ray diffraction. Open-File Report 82-934, United States Geological Survey, USA, 67 str. <https://doi.org/10.3133/ofr82934>

Hazelton, P.A. & Murphy, B.W. (2007): Exchangeable cations, U: Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?, 2nd ed., CSIRO Publishing, Australia, 64 – 66.

Hećimović, I., & Šorša, A. (2007): Geološka karta Podsljemenske urbanizirane zone. U: Ž. Miklin, Ž. Mlinar, Brkić, Ž. Brkić, I. Hećimović, & M. Dolić, Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone M 1:5000 - FAZA I (Neobjavljeni izvještaj). Zagreb: Stručni fond Hrvatskog geološkog instituta.

Hendershot, W.H., Lalonde, H., Duquette, M. (2008): Ion Exchange and Exchangeable Cations, U Soil sampling and Methods of Analysis, autor M.R. Carter i G.E. Gregorich, 197-206. Canadian Society of Soil Science, Canada.

High Score Plus, Version 4.5 (4.5.0.22741) (2016); PANalytical B.V. Almere, The Netherlands.

Ilijanić, N., (2014): Minerali glina u jezerskim sedimentima istočnojadranske obale kao pokazatelji promjena okoliša tijekom kasnog pleistocena i holocena. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb.

Ivanić, M., Vdović, N., de Brito Barreto, S., Bermanec, V., Sondi, I. (2015): Mineralogy, surface properties and elektrokinetic behaviour of kaolin clays derived from naturally occurring pegmatite and granite deposits, *Geologia Croatica*, 68, 2, 139-145.

Jackson, M., (1956): Soil Chemical Analysis - Advanced Course. Department of soil analysis, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA.

Jackson, M.L. & Abdel Kader, F. (1978): Kaolinite Intercalation Procedure for All Sizes and Types with X-Ray Diffraction Spacing Distinctive from Other Phyllosilicates, *Clays and Clay Minerals*, 26, 2, 81-87.

Jianhua Du, J., Morrise, G., Pushkarova, R.A., Smart, R.St.C. (2010): Effect of Surface Structure of Kaolinite on Aggregation, Settling Rate, and Bed Density, *Langmuir Article - American Chemical Society*, 26, 16, 13227 – 13235.

Jurak, V., Mihalić, S. (1990): Zoniranje područja Zagreba na osnovne geotehničke sredine, Geotehnički problemi u urbanim srdinama – Priopćenja (knjiga 1), ur. Mavar, R., Hrvatsko društvo za mehaniku tla i temeljenje, Zagreb, 467 – 465.

Kaya, A. (2009): Relating equal smectit content and basal spacing to the residual friction angle of soils, *Engineering Geology*, 108, 252-258.

Kordek, S., Novosel, T., Mihalinec, Z., & Lisac, Z. (2004): "Klizište Črešnjevci"- Zagreb sanacija, Stručni fond Zavoda za geotehniku, IGH, Zagreb.

Kovačić, M. (2004). Sedimentologija gornjomiocenskih naslaga jugozapadnog dijela panonskog bazena - doktorska disertacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno - matematički fakultet.

Kovačić, M., & Grizelj, A. (2006). Provenance of the Upper Miocene clastic material in the southwestern part of Pannonian Basin, *Geologica Carpathica*, 57,6, 495 - 510.

Krumm, S., (1994): Centrifuge - Calculates settling times for grain size separation by centrifuge methods.

Locat, J., Berube, M.A., Chagnon, J.Y. & Gelinat, P. (1985): The mineralogy of sensitive clays in relation to some engineering geology problems - an overview, *Applied Clay Science*, 1, 193-205.

Lučić, D., Saftić, B., Krizmanić, K., Prelogović, E., Britvić, V., Mesić, I., Tadej, J. (2001): The Neogene evolution and hydrocarbon potential of the Pannonian Basin in Croatia, *Marin and Petroleum Geology*, 18, 133 – 147.

Ma, C & Eggleton, T. (1999): Cation exchange capacity of kaolinite, *Clays and Clay Minerals*, 47, 2, 174-180.

Magyar, I., Geary, D.H., & Muller, P. (1999): Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*, 147, 151-167.

Magyar, I., & Geary, D.H. (2012): Biostratigraphy in a late Neogene Caspian-Type Lacustrine Basin: Lake Pannon, Hungary, In: Baganz, O.W., Bartov, Y., Bohacs, K. & Nummedal, D. (ur.): Lacustrine sandstone reservoirs and hydrocarbon systems. *AAPG Memoir*, 95, 255 – 264.

Mandić, O., De Leeuw, A., Bulić, J., Kuiper, K., 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. *International Journal of Earth Sciences*, 101, 4, 1033 – 1046.

Mandić, O., Kurečić, T., Neubauer, T., & Harzhauser, M. (2015): Stratigraphic and paleogeographic significans of lacustrine molluscs from the Pliocene Viviparus beds in Central Croatia, *Geologia Croatica*, 68 (3), 179-207.

Mansa, R., Ngassa Piegang, G.B., Detellier, C. (2017): Kaolinite Aggregation in Book-like Structures in Non-aqueous media, *Clays and Clay Minerals*, 65, 3, 193-205.

Martinčević Lazar, J., Urumović, K., Mihalić Arbanas, S. (2017): Mineraloška i fizička svojstva tipičnih tala podsljemenske zone grada Zagreba, *Inženjerstvo okoliša*, 4, 2, 93-100.

Martinčević Lazar, J., Miklin, Ž., Podolszki, L., Durn, G., Grizelj, A. (2018): The role of clay minerals in formation of sliding surface – a case study of Črešnjevce landslide (Zagreb, Croatia), U: Conference Book of 9th Mid-European Clay Conference; Tibljaš, D., Horvat, M., Tomašić, N., Mileusnić, M., Grizelj, A. (ur.); Croatian Geological Survey, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Faculty of Science, 76-76.

Meier, L.P., Kahr, G. (1999): Determination of the Cation Exchange Capacity (CEC) of Clay Minerals Using the Complexes of Copper(II) Ion with Triethylenetetramine and Tetraethylenepentamine. *Clays and Clay Minerals*. 47, 386–388.

Mencin Gale, E., Jamšek Rupnik, P., Trajanova, M., Bavec, M., Anselmetti, F.S., Šmuc, A. (2019): Morphostratigraphy and provenance of Plio-Pleistocene terraces in the south-eastern Alpine foreland: the Mislinja and Upper Savinja valleys, northern Slovenia, *Journal of Quaternary Science*, 34, 8, 633 – 649.

Mihalić Arbanas, S., Bernat, S., Hamasaki, E., Gerber, N. (2012): Historical landslides in the City of Zagreb: landslide distribution analysis and 3D modeling of typical landslides in ADCALC3D, U: Monitoring and analyses for disaster mitigation of landslides, debris flow and floods – Book of proceedings of the 2nd Japanese-Croatian project Workshop, Ur. Ožanić, N., Arbanas, Ž., Mihalić, S., Marui, H., Dragičević, N., University of Rijeka, Rijeka, 122 – 125.

Mihalić Arbanas, S., & Arbanas, Ž. (2014): Landslide Mapping and Monitoring: Review of conventional and advanced techniques, U: Proceedings of 4th Symposium of Macedonian Association for Geotechnics, Šešov, V. (ur.), Skopje, 57-72.

Mihalić Arbanas, S., Krkač, M., Bernat, S. (2016): Application of advanced technologies in landslide research in the area of the City of Zagreb (Croatia, Europe), *Geologia Croatica*, 69, 2, 231 – 243.

Mihalić Arbanas, S., Sečanj, M., Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Begić, H., Džindo, A., Zekan, S., Arbanas, Ž. (2017): Landslides in the Dinarides and Pannonian Basin – from the

largest historical and recent landslides to catastrophic landslides caused by Cyclone Tamara (2014) in Bosnia Herzegovina, *Landslides*, 14, 1861 – 1876.

Mihalinec, Z., Ortolan, Ž., Klasnić, Z., & Vuković, Z. (2002): Klizište "Črešnjevec", Institut građevinarstva Hrvatske d.d., Zavod za geotehniku, Zagreb.

Miklin, Ž., Mlinar, Ž., Brkić, Ž., Hečimović, I. & Dolić, M. (2007): Detaljna inženjerskogeološka karta Podsljemenske urbanizirane zone M 1:5000 (DIGK-FAZA I). knjige I-IV, Zagreb, Hrvatski geološki institut.

Mileusnić, M., 2007. Podrijetlo, uvjeti nastanka i sastav glinovitih naslaga taloženih tijekom aptsko-albske emerzije u Istri. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Mitchell, J., & Soga, K. (2005): *Fundamentals of Soil Behavior* (3 ed), John Wiley & Sons, New Jersey, 592 str.

Moore, D., & Reynolds, R. (1997): *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals* (2nd ed.). Oxford University Press, New York, 378 str..

Muhunthan, B. (1991): Liquid Limit and Specific Surface of Clays, *Geotechnique*, 41, 135-138.

Mukherjee, S. (2013). *The Science of Clays - Applications in industry, Engineering and Environment*. Capital Publishing Company & Springer, New Delhi, India, 335 str.

Murtaugh, P., (2014): Indefens of P values. *Ecology*, 95(3), 611-617.

Olchawa, A., Goraczko, A. (2012): The relationship between the liquid limit of clayey soils, external specific surface area and the composition of exchangeable cations, *Journal of Water and Land Development*, 17, 83-88.

Olivier, J.P. & Sennett, P. (1973): Particle Size-Shape Relationships in Georgia Sedimentary Kaolins – II, *Clays and Clay Minerals*, 21, 403-412.

Pavelić, D. (2001): Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System, *Basin Research*, 13, 359-376.

Pavelić, D. & Kovačić, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift – type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia): A review, *Marine and Petroleum Geology*, 91, 455 – 469.

PDF-4/Minerals (2018): International Centre for Diffractiona Data, SN: MIND 180125-6368.

Pearson, K., (1896): Mathematical contributions to the theory of evolution. On a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs.. Proceedings of the Royal Society of London, LX, 489 – 502.

Pećina, I., Toševski, A., Lindić, J., Veličković, B., Medvidović, S., & Zemljak, A. (2014): Klizište u Ulici Dobrodol Breg. Geokon-Zagreb d.d., Zagreb.

Pedišić, Ž., Dizdar, D. (2010): Priručnik za kvantitativne metode. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Kineziološki fakultet, 280 str.

Polidori, E. (2003): Proposal for a new plasticity chart, Geotechnique, 53, 4, 397-406.

Polidori, E. (2007): Relationship between the Atterberg limits and clay content, Soils and Foundations Vol.47, No. 5, 887-896.

Raman, K. & Mortland, M., (1966): External specific surface area of vermiculite. Mineralogical Notes, 51, 1787-1792.

Rögl, F. (1996): Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene, Mitteilungen Ges. Geol. Bergbaustudenten Österreich, Wien, 41, 65-73.

Rögl, F. (1998): Paleogeographic considerations for Mediterranean and Paratethys seaways (Oligocene to Miocene). Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Vol. 99, pp. 279-310.

Royden, L.H. (1988): Late Cenozoic Tectonics of the Pannonian Basin System, U: The Pannonian Basin, A Study in Basin Evolution (Ed. L.H. Royden & F. Horvath), AAPG Mem., Tulsa, 45, 27-48.

Rubinić, V., Durn, G., Husnjak, S., Tadej, N. (2014): Composition, properties and formation of Pseudogley on loess along a precipitation gradient in the Pannonian region of Croatia. Catena, 113, 138-149.

Schmitz, R.M., Schroeder, C., Charlier, R. (2004): Chemo - mechanical interactions in clay; a correlation between clay mineralogy and Atterberg limits, Applied Clay Science, 26, 351-358.

Shirazi, M.A. & Boersma, L. (1984): A Unifying Quantitative Analysis of Soil Texture. Soil Science Society of America Journal, 48, 142-147.

Skempton, A.W. (1985): Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory, Geotechnique, 35, 3-18.

Slovenec, D. & Šiftar, D., (1991): Vermikulit i smektit u klastičnim sedimentima južnih obronaka Medvednice. *Geološki vjesnik*, 44, 121-127.

Slovenec D. & Lugović, B. (2000): Ultramafitne kumulatne stijene ofiolitnog kompleksa Medvednice (Sjeverozapadna Hrvatska), U: Vlahović, I. & Biondić, R. (ur.), *Zbornik radova 2. hrvatskog geološkog kongresa, 17.-20.05.2000.*, Cavtat, 379-385.

Slovenec, D., i V. Bermanec. (2003): *Sistematska mineralogija - mineralogija silikata*. Zagreb: Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu (Manualia Universitatis Studiorum Zagrebiensis), 359 str., Zagreb

Smith, C.W, Hadas, A., Dan, J. Koyumdjisky, H. (1985): Shrinkage and Atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel, *Geoderma*, 35, 47-65.

Stanton Geddes, J., Gomes de Freitas, C. & de Sales Dambros, C., (2014): In defens of P values: Comment on the statistical methods used by ecologists. *Ecology*, 95(3), 637-642.

Sutheimer, S.H., Maurice, P.A., Zhou, Q. (1999): Dissolution of well and poorly crystallized kaolinites: Al speciation and effects of surface characteristics, *American Mineralogist*, 84, 620-628.

Šikić, K., Basch, O., & Šimunić, A. (1979): Osnovna geološka karta 1:100000, Tumač za list Zagreb (L33-80). Savezni geološki zavod, Beograd.

Šikić, K. (1995): Prikaz geološke građe Medvednice, U: *Geološki vodič Medvednice* (ur. Šikić, K.), Hrvatski geološki institut, INA - NAFTAPLIN - Industrija nafte, Zagreb,

Šiša, P., Željem, S., Sokolić, Ž., & Kosorić, P. (2013): Klizište Dobrodol Breg. *Geotehnički studio d.o.o.*, Zagreb.

Terhorst, B., Ottner, F. & Wriessnig, K., (2012): Weathering intensity and pedostratigraphy of the Middle to Upper Pleistocene loess/palaeosol sequence of Wels-Aschet (Upper Austria). *Quaternary International*, 265,142-154.

Tiwari, B., & Marui, H. (2005): A new method for the correlation of residual Shear strength of the soil with mineralogical composition, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131, 1139-1150.

Tolosana-Delgado, R. (2012): Uses and misuses of compositional data in sedimentology. *Sedimentary Geology*, 280, 60 – 79.

Tomljenović, B., Csontos, L. (2001): Neogene – Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko Zagorje and Karlovac Basins, Croatia), *International Journal of Earth Sciences*, 90, 560 – 578.

Tomljenović, B. (2002): *Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja*, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsk – geološko – naftni fakultet, 208 str.

Urumović, K. (2013): Parametarska kvantifikacija hidrogeoloških svojstava klastičnih naslaga na primjerima pokusnih polja u Sjevernoj Hrvatskoj. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko - geološko - naftni fakultet, str.

USBR, 2001. Engineering Geology Field Manual, s.l., 2nd ed, U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation.

Velde, B. (1992). Introduction to Clay Minerals; Chemistry, Origins, Uses and Environmental Significance (1st izd.). Chapman & Hall, Hong Kong.

Velde, B., i Meunier, A. (2008): The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks. Springer Verlag, Berlin.

Višić, M. (2012): Upotreba zajednice teških minerala u interpretaciji modela klizišta Črešnjevca na južnim obroncima Medvednice., Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

Vrana, G., Blagus, Z., Šoštariko, I., Zemljak, A., & Starešina, K. (2013): Geotehnički istražni radovi za sanaciju klizišta na gradskom groblju Gaj urni - Krematorij Zagreb-geotehnička podloga za Idejni projekt. Geokon Zagreb d.d., Zagreb.

Weaver, C., (1989): Clays, Muds and Shales. Amsterdam: Elsevier, 818 str.

Whitney, D.L. & Evans, B.W. (2010): Abbreviations for names of rock – forming minerals, American Mineralogist, 95, 185 – 187.

Wilson, M., (1999): The Origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. Clay minerals, pp. 34, 7-25.

Worden, R.H., Griffiths, J., Wooldridge, L.J., Utley, J.E.P., Lawan, A.Y., Muhammed, D.D., Simon, N., Armitage, P.J. (2020): Chlorite in sandstones, Earth-Science Reviews, 204, 103-105.

Yin, K. i dr., (2014): Characterisation of the hydroxy-interlayerd vermiculite from the weathering of illite in Jiujiang red earth sediments. Soil Research, 52, 6, 554-561.

- Slika 1** Shematski prikaz strukturne građe nebubrivih (kaolinit, illit i klorit) i bubrivih (montmorillonit, vermikulit) minerala glina. O – kisik, Si – silicij, K – kalij, OH – hidroksilni ion, Al – aluminij, Mg – magnezij, G – mreža gibbsitnog tipa, B – mreža brucitnog tipa. Za bubrive minerale glina prikazana je struktura i osnovni međumrežni razmak u dehidriranom (lijevo) i hidratiziranom stanju (desno). Modificirano prema Mitchell & Soga (2005) 9
- Slika 2** Položaj Medvednice unutar Panonskog bazenskog sustava (preuzeto sa <https://i.imgur.com/mOsrski.jpg>)..... 12
- Slika 3** Granice Podsljemenske zone s prikazom prostorne distribucije gornjomiocenskih i pliokvartarnih naslaga; modificirano prema Hećimović & Šorša (2007) 14
- Slika 4** Detaljna inženjerskogeološka karta podsljemenske urbanizirane zone grada Zagreba, originalnog mjerila 1:5000 (Miklin i dr., 2007)..... 18
- Slika 5** Vrste tala i relativna zastupljenost u uzorcima ispitanim u okviru projekta DIGK-FAZA I (Miklin, 2007). Prikaz po neformalnim litostratigrafskim jedinicama prema Kovačić (2004) unutar gornjomiocenskih (a) i pliokvartarnih naslaga (b). 20
- Slika 6** Grafički prikaz promjena u vrijednostima granica tečenja (w_l) i indeksa plastičnosti (IP) masnih glina (CH) u pojedinim litostratigrafskim jedinicama (Martinčević Lazar i dr., 2017). 21

Slika 7 Grafički prikaz promjena u vrijednostima granica tečenja (w_l) i indeksa plastičnosti (IP) masnih glina (CH) u pojedinim litostratigrafskim jedinicama (Martinčević Lazar i dr., 2017).....	22
Slika 8 Položaj bušotine P7/8-B1 na lokaciji Črešnjevec, prikazan na isječku DIGK originalnog mjerila 1:5.000 (Miklin i dr., 2007).....	28
Slika 9 Jezgra bušotine P7/8 – B1 (lokacija Črešnjevec) dubine 35 m s oznakama mjesta uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja.....	29
Slika 10 Položaj bušotine P7-B2 na gradskom groblju Krematorij prikazan na isječku DIGK originalnog mjerila 1:5.000 (Miklin i dr., 2007).....	30
Slika 11 Jezgra bušotine P7– B2 (lokacija Krematorij), dubine 35 m s oznakama mjesta uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja.....	31
Slika 12 Položaj bušotine P9-B4 u Sjevernoj ulici prikazan na na isječku DIGK originalnog mjerila 1:5.000 (Miklin i dr., 2007)	32
Slika 13 Jezgra bušotine P9– B4 (lokacija Sjeverna ulica), dubine 35 m s oznakama mjesta uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja.....	33
Slika 14 Položaj bušotine P11-B4a u ulici Dobrodolski Brijeg prikazan na isječku DIGK originalnog mjerila 1:5.000 (Miklin i dr., 2007).....	34
Slika 15 Jezgra bušotine P11– B4a (lokacija u ulici Dobrodolski Breg, dubine 35 m s oznakama mjesta uzorkovanja za laboratorijska ispitivanja	35
Slika 16 Rendgenski difraktometar u vlasništvu Hrvatskog geološkog instituta s vertikalnim $\theta - \theta$ goniometrom, keramičkom rendgenskom Cu-cijevi, PiXcel-ovim detektorom i odgovarajućim nosačima za uzorke (na slici je vidljiv nosač za orijentirane uzorke). Prilikom snimanja uzorak miruje, dok rendgenska cijev i detektor rotiraju oko uzorka.....	36
Slika 17 Shematizirani prikaz vrsta mineraloških analiza provedenih na uzorcima s nabrojanim postupcima provedenih prilikom snimanja uzoraka frakcije manje od 2 μm : AD-uzorak sušen na zraku, EG- uzorak solvatiran etilen glikolom, 400°C – uzorak žaren na 400°C, 550°C – uzorak žaren na 550°C, K-AD – uzorak saturiran K+ i sušen na zraku, K-EG – uzorak saturiran K+ i solvatiran etilen glikolom, K-DMSO – uzorak saturiran K+ i solvatiran dimetil-sulfoksidom, K-350°C – uzorak saturiran K+ i žaren na 350°C, Mg-AD – uzorak saturiran Mg ²⁺ i sušen na zraku, Mg-GLC – uzorak saturiran Mg ²⁺ i solvatiran glicerolom, Mg - 550°C – uzorak saturiran Mg ²⁺ i žaren na 550°C.	37
Slika 18 Prikaz nekih od osnovnih koraka u pripremi uzoraka za mineralošku analizu: a) otapanje kalcita u uzorcima, b) taloženje glinovite frakcije iz suspenzije, c) glina nakapana na stakalca, d) napanje orijentiranih uzoraka frakcije manje od 2 μm etilen glikolom.....	39
Slika 19 Sušenje uzoraka pomiješanih s ZnO i metanolom nakon usitnjavanja u McCronovom mlinu.....	40
Slika 20 Usporedba difrakcijskih slika kalijem i magnezijem saturiranog uzorka frakcije < 2 μm (uzorak DBD-10). Nakon tretmana s DMSO pik dobro kristaliziranog kaolinita seli na 11.2 Å, a slabokristaliziranog kaolinita ostaje na 7 Å. Nakon žarenja na 550°C pik kaolinita	

nestaje te ostaju pikovi klorita na 14 Å, 7 Å, 4.7 Å i 3.55 Å. <i>Chl-klorit, Kln-slabokristalizirani kaolinit, KlnD – dobrokristalizirani kaolinit</i>	42
Slika 21 Usporedba difrakcijskih slika kalijem (K) i glicerolom (GLC) saturiranog uzorka frakcije < 2 µm. Difrakcijska slika uzorka saturiranog kalijem pokazuje pik smektita na 12-13 Å, te pik vermikulita i illita na 10 Å. Nakon saturacije s glicerolom pik vermikulita seli na 14.5 Å, a pik smektita na 18 Å. <i>Ilt – illit, Sm – smektit, Vr – vermikulit</i>	43
Slika 22 Filtriranje smjese uzorka i Cu-trien kompleksa kroz filter papir u tikvice od 50 ml (slika lijevo) i mjerenje apsorbance na spektrofotometru (slika desno).	45
Slika 23 Graf ovisnosti koncentracije o apsorbanci s dobivenom jednadžbom na temelju koje je izračunata koncentracija nezamijenjenog bakrova kationa.	46
Slika 24 Trokomponentni dijagram dobiven rotacijom USDA trokutnog dijagrama (gore desno) u ortogonalni sustav geometrijskog srednjeg promjera (d_g) i standardne devijacije veličine čestica (σ_g) (prema Shirazi & Boersma, 1984); (1) pijesak, (2) ilovasti pijesak, (3) pjeskovita ilovača, (4) ilovača, (5) prahovita ilovača, (6) prah, (7) pjeskovito – glinovita ilovača, (8) glinovita ilovača, (9) prahovito – glinovita ilovača, (10) pjeskovita glina, (11) prahovita glina, (12) glina.	50
Slika 25 Dijagram efektivne poroznosti (n_{ef}) u odnosu na srednje geometrijsko zrno (D_{Ing}). Oznaka <i>U</i> označava koeficijent jednoličnosti koji dijeli krupnozrnaste materijale prema graduiranosti. Crtkana linija predstavlja pretpostavljeni odnos efektivne poroznosti i geometrijskog srednjeg zrna i odnosi se na slabo graduirane pijeske i šljunke, dok puna crta označava odnos efektivne poroznosti i srednje veličine zrna verificiran na uzorcima. Modificirano prema Urumović (2013).	51
Slika 26 Difrakcijske slike frakcije manje od 2µm odabranih uzoraka tla pliokvartarne starosti iz bušotina P7/8 – B1 i P7-B2; <i>AD-uzorak sušen na zraku, EG – uzorak tretiran etilen glikolom, 350°C/400°C/550°C – uzorak žaren na 350, 400 ili 550°C, DMSO – uzorak tretiran dimetil sulfoksidom, GLC – uzorak tretiran glicerolom, Gt – getit, Il – illit, Kln – neuređeni kaolinit (ne reagira s DMSO), Ms – muskovit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr? – nepoznati 14Å mineral glina, Vr – vermikulit</i>	61
Slika 27 Difrakcijske slike frakcije manje od 2µm odabranih uzoraka tla pliokvartarne stratigrafske pripadnosti iz bušotine P9-B4; <i>AD-uzorak sušen na zraku, EG – uzorak tretiran etilen glikolom, 350°C/400°C/550°C – uzorak žaren na 350, 400 ili 550°C, DMSO – uzorak tretiran dimetil sulfoksidom, GLC – uzorak tretiran glicerolom, Gt – getit, Il – illit, Kln – neuređeni kaolinit (ne reagira s DMSO), KlnD – uređeni kaolinit (reagira s DMSO), Ms – muskovit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr? – nepoznati 14Å mineral glina, Vr – vermikulit</i>	62
Slika 28 Difrakcijske slike frakcije manje od 2µm odabranih uzoraka tla iz jedinice Pluska (Č-18, SU-25) i jedinice Hum Zabočki (Č-27 i Č-40). <i>AD-uzorak sušen na zraku, EG – uzorak tretiran etilen glikolom, 350°C/400°C/550°C – uzorak žaren na 350, 400 ili 550°C, DMSO – uzorak tretiran dimetil sulfoksidom, GLC – uzorak tretiran glicerolom, Gt – getit, Il – illit, Kln – neuređeni kaolinit (ne reagira s DMSO), KlnD – uređeni kaolinit (reagira s DMSO), Ms – muskovit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit</i>	63

- Slika 29** Difrakcijske slike frakcije manje od 2 μ m odabranih uzoraka tla iz jedinice Andraševec; AD-uzorak sušen na zraku, EG – uzorak tretiran etilen glikolom, 350°C/400°C/550°C – uzorak žaren na 350, 400 ili 550°C, DMSO – uzorak tretiran dimetil sulfoksidom, GLC – uzorak tretiran glicerolom, Gt – getit, Il – illit, Kln – neuređeni kaolinit (ne reagira s DMSO), Kln_D – uređeni kaolinit (reagira s DMSO), Ms – muskovit, Qtz – kvarc, Sm – smektit 64
- Slika 30** Difraktogrami uzoraka Č-3, Č-7 i Č-13 iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; Am – amfiboli, Ch – klorit, Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Vr – vermikulit 66
- Slika 31** Difraktogrami uzoraka Č-18 i Č-22 iz jezgre P7/8-B1 (lokacija Črešnjevec) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Vr – vermikulit 67
- Slika 32** Difraktogrami uzoraka Č-23 i Č-34 iz jezgre P7/8-B1 (lokacija Črešnjevec) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; Cal – kalcit, Ch – klorit, Dol – dolomit, Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit 68
- Slika 33** Difraktogrami uzoraka KR-3, KR-6, KR-8, KR-15 i KR-21 iz bušotine P7-B2 (Krematorij) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; Am – amfiboli, Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit 69
- Slika 34** Difraktogrami uzoraka SU-3, SU-9, SU-14 i SU-21 iz jezgre P9-B4 (lokacija Sjeverna ulica) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit 72
- Slika 35** Difraktogrami uzoraka su-24 i SU-25 iz jezgre P9-B4 (lokacija Sjeverna ulica) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; Fs – feldspati, Gt – getit, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Vr – vermikulit 73
- Slika 36** Difraktogrami odabranih uzoraka iz jezgre P11-B4a (lokacija Sjeverna ulica) s označenim difrakcijskim pikovima karakterističnim za određene minerale; Cal – kalcit, Ch – klorit, Dol – dolomit, Fs – feldspati, Il/Ms – tinjci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit 74
- Slika 37** Grafički prikaz udjela granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti (litostratigrafska jedinica Bistra) iz bušotine P7/8 – B1 na lokaciji Črešnjevec 86
- Slika 38** Grafički prikaz udjela granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti (litostratigrafska jedinica Bistra) iz bušotine P7-B2 na lokaciji Krematorij 86

Slika 39 Grafički prikaz udjela granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti (litostratigrafska jedinica Bistra) iz bušotine P9-B4 na lokaciji Sjeverna ulica.....	87
Slika 40 Grafički prikaz udjela granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala gornjomiocenske starosti (litostratigrafske jedinice Pluska i Hum Zabočki) iz bušotine P7/8-B4 (lokacija Črešenjevec) i bušotine P9-B4 (lokacija Sjeverna ulica). ? – pretpostavljena litostratigrafska pripadnost.....	88
Slika 41 Grafički prikaz raspodjele granulometrijskih frakcija u uzorcima sitnozrnastih tala gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti iz bušotine P11-B4a na lokaciji Sjeverna ulica.	89
Slika 42 Uzorci sa sve četiri lokacije prikazani na ortogonalnm trokomponentnm dijagramu prema Shirazi & Boersma (1984) korištenom za određivanje geometrijskog srednjeg zrna (dg) i standardne devijacije veličine čestica (σ_g). Oznake polja na dijagramina: (1) pijesak, (2) ilovasti pijesak, (3) pjeskovita ilovača, (4) ilovača, (5) prahovita ilovača, (6) prah, (7) pjeskovito – glinovita ilovača, (8) glinovita ilovača, (9) prahovito – glinovita ilovača, (10) pjeskovita glina, (11) prahovita glina, (12) glina. Žutom bojom označeni su uzorci pliokvartarne starosti, a sivom bojom uzorci gornjomiocenske starosti.....	90
Slika 43 Klasifikacija uzoraka sitnozrnastih tala pliokvartarne i gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti na osnovu granica tečenja i indeksa plastičnosti prema USCS klasifikaciji (ASTM D 2487 – 06, 2006)	98
Slika 44 Maseni udio mineralnih vrsta u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti s lokacije Črešnjevec (bušotina P7/8-B1).....	113
Slika 45 Maseni udio mineralnih vrsta u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti s lokacije Krematorij (bušotina P7-B2).....	113
Slika 46 Maseni udio mineralnih vrsta u uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti s lokacije Sjeverna ulica (bušotina P9-B4).....	114
Slika 47 Maseni udio mineralnih vrsta u sitnozrnastim tlima gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti s lokacija Črešnjevec (P7/8-B1), Sjeverna Ulica (P9-B4) i Dobrodol breg (P11-B4a).....	116
Slika 48 Usporedba udjela minerala glina u sitnozrnastim tlima pliokvartarne (PLQ, 39 uzoraka) i gornjomiocenske (GM, 20 uzoraka) starosti: a) kaolinit, b) tinjčasti minerali (illit/muskovit), c) smektit, d) klorit, e) vermikulit.....	121
Slika 49 Relativni udio pojedinih vrsta sitnozrnastih tala pliokvartarne starosti analiziranih u ovom istraživanju (39 uzoraka)	122
Slika 50 Relativni udio pojedinih vrsta sitnozrnastih tala gornjomiocenske starosti analiziranih u ovom istraživanju (20 uzoraka).....	123
Slika 51 Usporedba sitnozrnastih tala pliokvartarne (PIQ) i gornjomiocenske (GM) starosti s obzirom na: a) granice tečenja, b) granice plastičnosti i c) indeks plastičnosti.	124
Slika 52 Usporedba vrijednosti kapaciteta kationske izmjene (CEC) sitnozrnastih tala pliokvartarne (PLQ) i gornjomiocenske (GM) starosti.....	125

- Slika 53** Usporedba vrijednosti specifične površine (SSA) sitnozrnastih tala pliokvartarne (PLQ) i gornjomiocenske (GM) starosti. 126
- Slika 54** Diskriminantna analiza na temelju litostratigrafske pripadnosti prema mineralnom sastavu i fizičkim svojstvima sitnozrnastih tala: a) dijagram varijabli (diskriminantna opterećenja), b) dijagram uzoraka (diskriminantni bodovi) u reduciranom diskriminantnom prostoru prve (DF1) i druge (DF2) diskriminantne osi. *Am – amfibol, Ca-kalcit, Do-dolomit, Fs-feldspati, Gt-getit, Il/Ms-tinjci (illit/muskovit), Kln-kaolinit, Qtz-kvarc, Sm-smektit, C-glinovita frakcija, M-frakcija praha, S-frakcija pijeska, Wl-granica tečenja, Wp-granica plastičnosti, IP-indeks plastičnosti, CEC-kapacitet kationske izmjene, SSA-specifična površina, PLQ-tla pliokvartarne stratigrafske pripadnosti, M-tla gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti.*..... 129
- Slika 55** Diskriminantna analiza prema geomehaničkoj vrsti tla na temelju mineralnog sastava i fizičkih svojstava: a) dijagram varijabli (diskriminantna opterećenja), b) dijagram uzoraka (diskriminantni bodovi) u reduciranom diskriminantnom prostoru prve (DF1) i druge (DF2) diskriminantne osi. *Am – amfibol, Ca-kalcit, Do-dolomit, Fs-feldspati, Gt-getit, Il/Ms-tinjci (illit/muskovit), Kln-kaolinit, Qtz-kvarc, Sm-smektit, C-glinovita frakcija, M-frakcija praha, S-frakcija pijeska, Wl-granica tečenja, Wp-granica plastičnosti, IP-indeks plastičnosti, CEC-kapacitet kationske izmjene, SSA-specifična površina, CH-visokoplastične gline, CL-niskoplastične gline, MH-visokoplastični prahovi, ML-niskoplastični prahovi.* 130
- Slika 56** Diskriminantna analiza prema geomehaničkoj vrsti tla i njihovoj stratigrafskoj pripadnosti na temelju mineraloškog sastava i fizičkih svojstava: a) dijagram varijabli (diskriminantna opterećenja), b) dijagram uzoraka (diskriminantni bodovi) u reduciranom diskriminantnom prostoru prve (DF1) i druge (DF2) diskriminantne osi. *Am – amfibol, Ca-kalcit, Do-dolomit, Fs-feldspati, Gt-getit, Il/Ms-tinjci (illit/muskovit), Kln-kaolinit, Qtz-kvarc, Sm-smektit, C-glinovita frakcija, M-frakcija praha, S-frakcija pijeska, Wl-granica tečenja, Wp-granica plastičnosti, IP-indeks plastičnosti, CEC-kapacitet kationske izmjene, SSA-specifična površina.* 132
- Slika 57** Maseni udjeli vermikulita i smektita u pliokvartarnim sitnozrnastim tlima s lokacija Črešnjevca: a) pliokvartarne visokoplastične gline (PLQ-CH), b) pliokvartarne niskoplastične gline (PLQ-CL), c) pliokvartarni niskoplastični prahovi (PLQ-ML). Oznake: Č-Črešnjevec, K-Krematorij, SU-Sjeverna ulica..... 134
- Slika 58** Korelacijski dijagram utjecaja vermikulita na fizička svojstva visokoplastičnih glina pliokvartarne starosti (PLQ-CH): a) zavisnost granice plastičnosti (WP) o sadržaju vermikulita, b) zavisnost kapaciteta kationske izmjene (CEC) o sadržaju vermikulita i c) zavisnost granice plastičnosti (WP) o kapacitetu kationske izmjene..... 135
- Slika 59** Korelacijski dijagram utjecaja smektita na fizička svojstva niskoplastičnih glina pliokvartarne starosti (PLQ-CL): a) zavisnost kapaciteta kationske izmjene (CEC) o sadržaju smektita (Sm), b) zavisnost granice plastičnosti (WP) o sadržaju smektita. 136
- Slika 60** Korelacijski dijagram vermikulita i fizičkih svojstava niskoplastičnih glina pliokvartarne starosti (PLQ-CL): a) zavisnost granice tečenja (WL) o sadržaju vermikulita (Vr), b) zavisnost specifične površine (SSA) o sadržaju vermikulita, c) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o sadržaju vermikulita 137

Slika 61 Korelacijski dijagram vermikulita i fizičkih svojstava niskoplastičnih prahova pliokvartarne starosti (PLQ-ML): a) zavisnost granice tečenja (WL) o sadržaju vermikulita (Vr), b) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o sadržaju vermikulita, c) zavisnost specifične površine (SSA) o sadržaju vermikulita.	138
Slika 62 Korelacijski dijagram vermikulita (Vr) i fizičkih svojstava niskoplastičnih prahova pliokvartarne starosti (PLQ-ML): a) zavisnost granice tečenja (WL) o sadržaju vermikulita, b) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o sadržaju vermikulita, c) zavisnost specifične površine (SSA) o sadržaju vermikulita.	139
Slika 63 Maseni udjeli vermikulita i smektita u gornjomiocenskim sitnozrnastim tlima s lokacije Črešnjevec, (Č), Sjeverna ulica (SU) i Dobrodol breg (DBD) za: a) visokoplastične gline; b) visokoplastične prahove; i c) niskoplastične prahove.	140
Slika 64 Korelacijski dijagram smektita i kapaciteta kationske izmjene u gornjomiocenskim sitnozrnastim tlima: a) zavisnost CEC-a o udjelu smektita u visokoplastičnim prahovima (GM-MH), b) zavisnost CEC-a o udjelu smektita u niskoplastičnim prahovima (GM – ML).	141
Slika 65 Maseni udjeli kaolinita (Kln) i tinjčastih minerala (Il/Ms) u pliokvartarnim sitnozrnastim tlima: visokoplastičnim glinama (PLQ-CH), niskoplastičnim glinama (PLQ-CL) i niskoplastičnim prahovima (PLQ-ML).	142
Slika 66 Korelacijski dijagram udjela kaolinita (Kln) s fizičkim svojstvima pliokvartarnih visokoplastičnih glina (PLQ-CH): a) zavisnost specifične površine (SSA) o udjelu kaolinita b) zavisnost granice tečenja (WL) i indeksa plastičnosti (IP) o udjelu kaolinita.	143
Slika 67 Korelacijski dijagram specifične površine (SSA) pliokvartarnih visokoplastičnih glina (PLQ-CH) s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP).	143
Slika 68 Korelacijski dijagram udjela kaolinita (Kln) s fizičkim svojstvima pliokvartarnih niskoplastičnih glina (PLQ-CL): a) zavisnost granice tečenja (WL) o udjelu kaolinita; b) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o udjelu kaolinita; c) zavisnost specifične površine (SSA) o udjelu kaolinita. Svjetlocrvenom bojom označeni su uzorci sa slabouređenim kaolinitom, a tamnijom bojom uzorci s dobrouređenim kaolinitom.	144
Slika 69 Korelacijski dijagram udjela tinjčastih minerala (Il/Ms) sa specifičnom površinom (SSA) pliokvartarnih niskoplastičnih prahova.	145
Slika 70 Maseni udjeli kaolinita (Kln), tinjčastih minerala (Il/Ms) i klorita u gornjomiocenskim vrstama sitnozrnastih tala: a) visokoplastične gline (GM-CH), b) visokoplastični prahovi (GM-MH) i c) niskoplastični prahovi (GM-ML).	145
Slika 71 Korelacijski dijagram udjela kaolinita (Kln) s fizičkim svojstvima gornjomiocenskih visokoplastičnih prahova (GO-MH): a) zavisnost kapaciteta kationske izmjene (CEC) o udjelu kaolinita b) zavisnost granice tečenja (WL) o udjelu kaolinita, c) zavisnost indeksa plastičnosti (IP) o udjelu kaolinita.	146
Slika 72 Korelacijski dijagram kapaciteta kationske izmjene (CEC) gornjomiocenskih visokoplastičnih prahova s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP).	147

- Slika 73** Korelacijski dijagram udjela klorita (Chl) s fizičkim svojstvima gornjomiocenskih visokoplastičnih prahova (GO-MH): a) zavisnost specifične površine (SSA) o udjelu klorita; b) zavisnost granice plastičnosti (WP) o udjelu klorita. 148
- Slika 74** Korelacijski dijagram udjela kaolinita (Kln) s fizičkim svojstvima gornjomiocenskih niskoplastičnih pahova (GO-ML): a) zavisnost granice plastičnosti (WP) i indeksa plastičnosti (IP) o udjelu kaolinita; b) zavisnost specifične površine (SSA) o udjelu kaolinita. 149
- Slika 75** Korelacijski dijagram udjela tinjčastih minerala (Ill/Ms) s fizičkim svojstvima gornjomiocenskih niskoplastičnih pahova (GO-ML): a) zavisnost kapaciteta kationske izmjene tla (CEC) o udjelu tinjčastih minerala; b) zavisnost granice tečenja (WL) o udjelu tinjčastih minerala. 149
- Slika 76** Grafički prikaz korelacije između udjela glinovite frakcije ($< 2\mu\text{m}$) i granica konzistencije za pliokvartarne vrste sitnozrnastih tala: a) korelacija glinovite frakcije s granicom tečenja (WL) za visokoplastične gline, b) korelacija glinovite frakcije s granicom tečenja (WL) i indeksom plastičnosti (IP) za niskoplastične gline, c) korelacija glinovite frakcije s granicom plastičnosti (WP) i granicom tečenja (WL) za niskoplastične prahove. 151
- Slika 77** Korelacijski dijagram getita (Gt) i fizičkih svojstava pliokvartarnih visokoplastičnih glina: a) korelacija udjela getita s granicom tečenja (WL) i granicom plastičnosti (WP), b) korelacija udjela getita i specifične površine tla (SSA). 152
- Slika 78** Korelacijski dijagram udjela feldspata i fizičkih svojstava tla: a) korelacija udjela feldspata sa specifičnom površinom tla (SSA) za pliokvartarne visokoplastične i niskoplastične gline, b) korelacija udjela feldspata i kapaciteta kationske izmjene (CEC) za pliokvartarne niskoplastične gline i gornjomiocenske visokoplastične prahove. 153

10. POPIS TABLICA

Tablica 1 Sustav klasifikacije minerala glina; modificirano prema Guggenheim i dr. (2006)	8
Tablica 2 Vrijednosti specifične površine (SSA) za minerale glina prema Fam & Dussealt (1999) i Mitchell & Soga (2005)	11
Tablica 3 Karakteristične vrijednosti kapaciteta kationske izmjene za pojedine minerale glina prema VELDE & MEUNIER (2008) i MITCHELL & SOGA (2005)	11
Tablica 4 Facijesi i uvjeti taloženja neformalnih litostratigrafskih jedinica gornjomiocenskih naslaga prisutnih u podsljemenskoj zoni. Modificirano prema Kovačić (2004)	15
Tablica 5 Sažeti opis facijesa i uvjeta taloženja neformalne litostratigrafske jedinice pliokvartarnih naslaga na području podsljemenske zone grada Zagreba.....	16
Tablica 6 Vrste tla unutar litostratigrafskih jedinica gornjomiocenskih i pliokvartarnih naslaga i njihova fizička svojstva (granice plastičnosti i granulometrijski sastav); wl – granica tečenja, wp – granica plastičnosti, IP-indeks plastičnosti, G-šljunak, S-pijesak, M-prah, C-glina	19
Tablica 7 Mineralni sastav i relativni udio pojedinih mineralnih vrsta u uzorcima sitnozrnastih tala gornjomiocenske i pliokvartarne starosti analiziranih tijekom DIGK – FAZA I (Miklin i dr., 2007). <i>Tablica se nastavlja na sljedeću stranicu</i>	23
Tablica 8 Oznake bušotina s geografskim koordinatama	25
Tablica 9 Popis i terenski opis uzoraka iz bušotina korištenih za uzorkovanje za potrebe disertacije. Narančasto su označeni uzorci pliokvartarne stratigrafske pripadnosti, a plavo uzorci gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti.	26
Tablica 10 Kriteriji korišteni za identifikaciju minerala glina prema promjeni položaja 001 bazalnog refleksa (u Å).....	41
Tablica 11 Izračunate koncentracije i apsorbanca standardnih otopina Cu–trien kompleksa.	45

Tablica 12 Jačina korelacije prema apsolutnoj vrijednosti koeficijenta korelacije (Pedišić & Dizdar, 2010)	56
Tablica 13 Mineralni sastav frakcije manje od 2 µm u uzorcima iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec)	58
Tablica 14 Mineralni sastav frakcije manje od 2 µm u uzorcima iz bušotine P7-B2 (Krematorij)	59
Tablica 15 Mineralni sastav frakcije manje od 2 µm u uzorcima iz bušotine P9-B4 (Sjeverna ulica)	59
Tablica 16 Mineralni sastav frakcije manje od 2 µm u uzorcima iz bušotine P11-B4a (Dobrodol Breg).....	60
Tablica 17 Mineralni sastav uzoraka iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec) s istaknutim glavnim i sporednim mineralnim vrstama, <i>Am-amfiboli, Cal-kalcit, Ch-klorit, Dol-dolomit, Fs-feldspati, Gt-getit, Ill/Ms-tinjeci (illit/muskovit), Kln-kaolinit, Qtz-kvarc, Vr - vermikulit</i>	65
Tablica 18 Mineralni sastav uzoraka iz bušotine P7-B2 (Krematorij) s istaknutim glavnim i sporednim mineralnim vrstama, <i>Am-amfiboli, Ch-klorit, Dol-dolomit, Fs-feldspati, Gt-getit, Ill/Ms-tinjeci (ilit/muskovit), Kln-kaolinit, Qtz-kvarc, Sm-smektit, Vrm-vermikulit</i>	68
Tablica 19 Mineralni sastav uzoraka iz bušotine P9-B4 (Sjeverna ulica) s istaknutim glavnim i sporednim mineralnim vrstama, <i>Am – amfiboli, Fs – feldspati, Gt – getit, Ill/Ms – tinjeci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vrm - vermikulit</i>	70
Tablica 20 Mineralni sastav uzoraka iz bušotine P11-B4a (Dobrodolski Breg) s istaknutim glavnim i sporednim mineralnim vrstama; <i>Do–dolomit, Ca–kalcit, Ch–klorit, Fs–feldspati, Gt–getit, Ill/Ms–tinjeci (ilit/muskovit), Kln–kaolinit, Qtz-kvarc, Sm-smektit</i>	73
Tablica 21 Približni udio minerala glina u uzorcima tala iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec) dobiven kvantitativnom analizom uzorka uz pomoć internog standarda (ZnO); <i>Am – amfiboli, Ca – kalcit, Do – dolomit, Fs – feldspati, Gt – getit, Ill/Ms – tinjeci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit, *</i> -uzorci u kojima je utvrđena prisutnost i klorita i vermikulita – u njima nije bilo moguće odrediti kvantitativni udio zasebno za svaki mineral, već je on prikazan kao njihov zbroj	76
Tablica 22 Približni udio minerala glina u uzorcima tala iz bušotine P7-B2 (Krematorij) dobiven kvantitativnom analizom uzorka uz pomoć internog standarda (ZnO); <i>Am – amfiboli, Ca – kalcit, Do – dolomit, Fs – feldspati, Gt – getit, Ill/Ms – tinjeci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit,</i>	77
Tablica 23 Približni udio minerala glina u uzorcima tala iz bušotine P9-B4 (Sjeverna ulica) dobiven kvantitativnom analizom uzorka uz pomoć internog standarda (ZnO); <i>Am – amfiboli, Ca – kalcit, Do – dolomit, Fs – feldspati, Gt – getit, Ill/Ms – tinjeci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit, *</i> - u uzorcima u kojima je utvrđena prisutnost i klorita i vermikulita nije bilo moguće odrediti kvantitativni udio zasebno za svaki mineral, već je on prikazan kao njihov zbroj	78
Tablica 24 Približni udio minerala glina u uzorcima tala iz bušotine P11-B4a (Dobrodolski Breg) dobiven kvantitativnom analizom uzorka uz pomoć internog standarda (ZnO); <i>Am – amfiboli, Ca – kalcit, Ch – klorit, Do – dolomit, Fs – feldspati, Gt – getit, Ill/Ms – tinjeci (ilit/muskovit), Kln – kaolinit, Qtz – kvarc, Sm – smektit, Vr – vermikulit,</i>	79
Tablica 25 Kategorije tla prema vrijednostima CEC-a (preuzeto iz Hazelton & Murphy, 2007)	80

Tablica 26 Kapacitet kationske izmjene na uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne i gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti iz bušotine P7/8-B1 (Črešnjevec).....	80
Tablica 27 Kapacitet kationske izmjene uzoraka sitnozrnastih tala pliokvartarne stratigrafske pripadnosti iz bušotine P7-B2 (Krematorij).....	82
Tablica 28 Kapacitet kationske izmjene na uzorcima sitnozrnastih tala pliokvartarne i gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti iz bušotine P9-B4 (Sjeverna ulica)	83
Tablica 29 Kapacitet kationske izmjene na uzorcima sitnozrnastih tala gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti iz bušotine P11-B4a (Dobrodolski Breg).....	84
Tablica 30 Sažeti prikaz rezultata analize specifične površine sitnozrnastih tala prema njihovoj starosti i litostratigrafskoj pripadnosti.	91
Tablica 31 Osnovne granulometrijske veličine, hidraulička vodljivost i vrijednosti specifične površine dobivene iz hidrauličke vodljivosti preko Kozeny – Carmanove jednadžbe za uzorke iz bušotine P7/8-B1 s lokacije Črešnjevec. Narančastom bojom su označeni uzorci pliokvartarne starosti, a sivom uzorci gornjomiocenske starosti.	92
Tablica 32 Osnovne granulometrijske veličine, hidraulička vodljivost i vrijednosti specifične površina dobivene iz hidrauličke vodljivosti preko Kozeny – Carmanove jednadžbe za uzorke iz bušotine P7-B2 s lokacije Krematorij; narančastom bojom su označeni uzorci pliokvartarne starosti, a sivom uzorci gornjomiocenske starosti.	93
Tablica 33 Osnovne granulometrijske veličine, hidraulička vodljivost i vrijednosti specifične površina dobivene iz hidrauličke vodljivosti preko Kozeny – Carmanove jednadžbe za uzorke iz bušotine P9-B4 s lokacije Sjeverna ulica; narančastom bojom su označeni uzorci pliokvartarne starosti, a sivom uzorci gornjomiocenske starosti.	94
Tablica 34 Osnovne granulometrijske veličine, hidraulička vodljivost i vrijednosti specifične površine dobivene iz hidrauličke vodljivosti preko Kozeny – Carmanove jednadžbe za uzorke iz bušotine P11-B4a s lokacije Dobrodol Breg; narančastom bojom su označeni uzorci pliokvartarne starosti, a sivom uzorci gornjomiocenske starosti.	95
Tablica 35 Rezultati ispitivanja Atterbergovih granica i indeksa plastičnosti na uzorcima sitnozrnastih tala s područja podsljemenske zone s prikazom geomehaničke klasifikacije uzoraka. Žuto su označeni uzorci tala pliokvartarne, a sivo gornjomiocenske starosti; W_L – granica tečenja, W_P – granica plastičnosti, IP – indeks plastičnosti.....	96
Tablica 36 Rezultati T-testa za uzorke gornjomiocenske i pliokvartarne starosti u odnosu na udio minerala glina. Narančastom bojom označena je razina značajnosti pri kojoj test pokazuje pogrešku manju od 5%, sr.vr. – aritmetička sredina (srednja vrijednost skupa podataka), df – stupnjevi slobode, p -razina značajnosti, PIQ -uzorci pliokvartarne starosti, GM – uzorci gornjomiocenske starosti.	99
Tablica 37 Rezultati analize varijance (ANOVA) uzoraka gornjomiocenske i pliokvartarne starosti u odnosu na udio minerala glina. Narančastom bojom označena je razina značajnosti pri kojoj test pokazuje pogrešku manju od 5%. df – stupnjevi slobode, p – razina značajnosti, F – omjer srednjeg kvadrata odstupanja između grupa i unutar grupa, MS – srednji kvadrat, SS – zbroj kvadrata odstupanja.	99
Tablica 38 Multivarijantni test opće značajnosti diskriminacije. MODEL 1 uzima u obzir stratigrafsku i litostratigrafsku pripadnost sitnozrnastih tala, MODEL 2 uzima u obzir vrstu tla prema geomehaničkoj klasifikaciji, dok MODEL 3 uzima u obzir vrstu tla prema geomehaničkoj klasifikaciji i njegovu stratigrafsku pripadnost.	101
Tablica 39 Test značajnosti diskriminantnih funkcija za sva tri modela	101

Tablica 40 Klasifikacijske matrice diskriminatnih modela koja uspoređuje ulazni broj uzoraka tla prema predloženim grupama i brojem uzoraka u predloženoj grupi nakon diskriminacije.	102
Tablica 41 Aposteriorne vjerojatnosti pripadnosti uzoraka unaprijed definiranim grupama za diskriminaciju s obzirom na vrstu tla prema geomehaničkoj klasifikaciji (diskriminantni MODEL 2). Uzorci koji su prešli iz á posteriori grupe u neku drugu označeni su žutom bojom.	104
Tablica 42 Aposteriorne vjerojatnosti pripadnosti uzoraka unaprijed definiranim grupama prema relativnoj geološkoj starosti tla i geomehaničkoj klasifikaciji (diskriminantni MODEL 3). Uzorci koji su prešli iz á posteriori grupe u neku drugu označeni su žutom bojom.	105
Tablica 43 Korelacijska matrica za visokoplastične gline pliokvartarne starosti na osnovi 11 analiziranih uzoraka	107
Tablica 44 Korelacijska matrica za analizirane niskoplastične gline pliokvartarne stratigrafske pripadnosti.....	108
Tablica 45 Korelacijska matrica za analizirane niskoplastične prahove pliokvartarne stratigrafske pripadnosti.....	109
Tablica 46 Korelacijska matrica za analizirane visokoplastične gline gornjomiocenske stratigrafske pripadnosti (crvene gline)	110
Tablica 47 Korelacijska matrica za analizirane visokoplastične prahove gornjomiocenske starosti	111
Tablica 48 Korelacijska matrica za analizirane niskoplastične prahove gornjomiocenske starosti	111

11. ŽIVOTOPIS I POPIS RADOVA

Jasmina Martinčević Lazar rođena je u Varaždinu 1985. godine. Završila je Opću gimnaziju u Varaždinu nakon čega upisuje studij geologije na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Diplomirala je 2009. godine s radom na temu *Uloga tla krškog polja na zaštitu podzemnih voda u slivu Jadra i Žrnovnice*. 2010. godine zapošljava se u Hrvatskom geološkom institutu kao znanstveni novak – asistent na Zavodu za hidrogeologiju i inženjersku geologiju. Iste godine upisuje doktorski studij na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. 2018. godine postaje stručni savjetnik na zavodu za geologiju Hrvatskog geološkog instituta.

Do sada je sudjelovala na više različitih projekata od kojih se mogu izdvojiti *Osnovna inženjerskogeološka karta Republike Hrvatske*, hrvatsko-japanski biletarelni SATREPS projekt *Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia*, HRZZ projekt TRANITAL - *Podrijetlo, ponašanje i modeliranje transporta nitrata u varaždinskom aluvijalnom vodonosniku* i HRZZ projekt ISSAH - *Utjecaj specifične površine oplošja čestice na hidrogeološka svojstva prapora i na njima razvijenih tala istočne Hrvatske*.

Znanstvene interese primarno pokazuje u istraživanjima minerala glina i njihovog utjecaja na fizičko mehanička svojstva nevezanih i slabovezanih sedimenata te utjecaj minerala glina na purifikacijska svojstva tla pri čemu koristi različite laboratorijske tehnike i metode ispitivanja. Širi znanstveni interes pokazuje u području geokemije i mineralogije okoliša.

Dugododišnji je član Hrvatskog geološkog društva (HGD) – Odsjek za gline, a samim time i član Udruženja europskih grupa za gline (ECGA) i Međunarodnog udruženja za istraživanje glina (AIPEA).

POPIS RADOVA

- **Izvorni znanstveni i pregledni radovi s međunarodnom recenzijom:**

Martinčević Lazar, Jasmina; Urumović, Kosta; Mihalić Arbanas, Snježana (2017): Mineraloška i fizička svojstva tipičnih tala podsljemenske zone grada Zagreba, Inženjerstvo okoliša, 4, 2, 93-100

- **Cjeloviti znanstveni i stručni radovi u zbornicima skupova s međunarodnom recenzijom:**

Martinčević, J., Mihalić Arbanas, S., Krkač, M., Bernat, S., Miklin, Ž. & Podolszki, L. (2014): Mineralogical composition of the Kostanjek landslide sediments and its possible influence on the sliding and swelling processes. U: Mihalić Arbanas, S. & Arbanas, Ž. (ur.) *Landslide and Flood Hazard Assessment - Proceedings of the 1st Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region*. Zagreb, Hrvatska grupa za klizišta, 17-21.

Podolszki, L., Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Miklin, Ž. & Martinčević, J. (2014): Overview of historical landslide inventories of the Podsljeme Area in the City of Zagreb. U: Mihalić Arbanas, S. & Arbanas, Ž. (ur.) *Landslide and Flood Hazard Assessment - Proceedings of the 1st Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region*. Zagreb, Hrvatska grupa za klizišta, 57-62.

Miklin, Ž., Podolszki, L. & Martinčević, J. (2012): Geological and engineering-geological investigations in Brodsko brdo area. U: Knežević, M. & Ščepanović, B. (ur.) *Četvrti*

Internacionalni naučno-stručni skup Građevinarstvo - Nauka i praksa - Zbornik radova GNP 2012. Cetinje, Centralna Narodna Biblioteka Crne Gore, 2079-2084.

- **Sažeci u zbornicima skupova:**

Marković, T., Karlović, I., Šparica Miko, M., Martinčević Lazar, J.; Larva, O.; Brkić, Ž. (2019): Characterization of carbon in the shallow alluvial groundwater system, U: Hernánde, G., Jaime, J., Navarro, B.A. (ur.) - Proceedings of 46th Annual Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH2019). Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español Gran Capitán, Barcelona, 647-647.

Martinčević Lazar, J., Miklin, Ž., Podolszki, L., Durn, G., Grizelj, A. (2018): The role of clay minerals in formation of sliding surface - a case study of Črešnjevce landslide (Zagreb, Croatia), U: Tibljaš, D., Horvat, M., Tomašić, N., Mileusnić, M., Grizelj, A. (ur.) - Conference Book of 9th Mid-European Clay Conference, Croatian Geological Survey & Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering & Faculty of Science. Zagreb, 76-76.

Marković, T., Brkić, Ž., Larva, O., Gligora Uvodić, M., Maldini, K., Šparica Miko, M., Đumbir, A., Martinčević Lazar, J., Martinjak, J., Dolić, M., Žutinić, P., Milović, S., Vrsalović, M. & Orlić, S. (2017): Multidisciplinary approach to evaluate nitrogen behaviour in the alluvial aquifer of Varaždin area - Croatia. U: Posavec, K. & Marković, T. (ur.) 44th Annual Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH) - "Groundwater Heritage and Sustainability". Dubrovnik, Hrvatska, 132-132.

Urumović, K., Martinčević Lazar, J. & Kosović, I. (2017) Relations between mineralogical compound and hydrogeological properties of typical fine grained sediments in eastern Croatia. U: Posavec, K. & Marković, T. (ur.) - Book of Abstracts of 44th Annual Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH). Dubrovnik, Hrvatska, 146-146.

Podolszki, L., Miklin, Ž., Martinčević Lazar, J., Kolarić, J. & Frbežar, K. (2015) Inženjerskogeološko mikrozoniranje prema standardima Eurokoda 8 za zapadni dio podsljemenske urbanizirane zone. U: Horvat, M., Wacha, L. (ur.) Knjiga sažetaka 5.

Hrvatskog geološkog kongresa s međunarodnim sudjelovanjem. Osijek, Hrvatska, 214-215.

Miklin, Ž., Novosel, T., Podolszki, L. & Martinčević Lazar, J. (2013): A deep structural borehole on Medvednica hilly zone - review of new data and possible reinterpretation of existing geological model. U: Vlastelica, G., Andrić, I., Salvezani, D. (ur.) - 4th Project Workshop of Japanese - Croatian Project on Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia, Book of Abstracts. Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy. Split, 67-68.

Podolszki, L., Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Miklin, Ž. & Martinčević Lazar, J. (2013): Stereoscopic analysis of landslides on the southern slopes of the Mt. Medvednica and landslide features assessment – examples and field check. U: Vlastelica, G., Andrić, I. & Salvezani, D. (ur.) 4th Project Workshop of Japanese - Croatian Project on Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia ; Book of Abstracts, University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy. Split, 69-69.

Martinčević Lazar, J., Vlastelica, G., Bernat, S., Miklin, Ž. & Podolszki, L. (2013): Verification of mineralogical composition of Kostanjek landslide sediments using a visible and near-infrared (VIS-NIR) spectrometer. U: Vlastelica, G., Andrić, I. & Salvezani, D. (ur.), 4th Project Workshop of Japanese - Croatian Project on Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia; Book of Abstracts, University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy. Split, 19-20.

Miklin, Ž., Podolszki, L. & Martinčević, J. (2013): Availability of data about landslides in Croatia and their implementation in proposed formats of EU landslides data bases. U: Mihalić Arbanas, S. & Arbanas Željko (ur.), Landslide and Flood Hazard Assessment, Abstract Proceedings, City of Zagreb & Emergency Management Office, Zagreb, 84-85.

Miklin, Ž., Podolszki, L. & Martinčević, J. (2011): Inženjerskogeološke značajke nove pruge od Zagreba do Josipdola. U: Čvork, E. (ur.), Zbornik radova BH kongres o željeznicama. Udruženje konzultanata inženjera Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 17-17.