

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO–GEOLOŠKO–NAFTNI FAKULTET
ZAVOD ZA MINERALOGIJU, PETROLOGIJU I MINERALNE SIROVINE

ANA ANZULOVIĆ, univ.bacc.ing.geol.

LUCIA HERGOTIĆ

**„MINERALOŠKA STUDIJA VODOTOČNIH SEDIMENATA PLANINE MOTAJICE,
BOSNA I HERCEGOVINA“**

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO–GEOLOŠKO–NAFTNI FAKULTET
ZAVOD ZA MINERALOGIJU, PETROLOGIJU I MINERALNE SIROVINE

ANA ANZULOVIĆ, univ.bacc.ing.geol.

LUCIA HERGOTIĆ

**„MINERALOŠKA STUDIJA VODOTOČNIH SEDIMENATA PLANINE
MOTAJICE, BOSNA I HERCEGOVINA“**

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine Rudarsko–geološko–naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom dr.sc. Sibile Borojević Šoštarić i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2019./2020.

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko–geološko–naftni fakultet

„MINERALOŠKA STUDIJA VODOTOČNIH SEDIMENATA PLANINE MOTAJICE, BOSNA I HERCEGOVINA“

ANA ANZULović, univ.bacc.ing.geol.

LUCIA HERGOTIĆ

Rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko–geološko–naftni fakultet

Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak: Magmatsko–metamorfni kompleks Motajice nalazi se u sjevernoj BiH, uz rijeku Savu, na granici s Hrvatskom. Masiv je dio Sava–Vardar zone koja pripada jedinici unutarnjih Dinarida i Helenida. Središnji dio masiva je granitna intruzija, okružena kredno–paleogenskim kontaktno i regionalno metamorfnim formacijama. Istraživani su vodotočni sedimenti potoka koji dreniraju isključivo magmatski dio kompleksa te vodotočni sedimenti potoka koji dreniraju magmatski i metamorfni dio kompleksa. Provedene su granulometrijska analiza sijananjem, metoda magnetne separacije i XRD analiza. Svi analizirani uzorci vodotočnih sedimenata pokazuju dominaciju pjeskovite frakcije (39–78 masenih %), dok uzorci vodotočnih sedimenata koji dreniraju granite pokazuju veći udio silta (7–11 masenih %) od onih koji dreniraju granite i metamorfite (3,8–8%). Dokazana je prisutnost glavnih minerala karakterističnih za granite (kvarc, plagioklas, feldspati, tinjci) i glavnih minerala karakterističnih za okolne metamorfne formacije (klorit, amfibol). Uz opisani mineralni sastav, vodotočni sedimenti iz potoka koji dreniraju granite sadrže i minerale glina, hematiti i klorit, koji ukazuju na naknadne hidrotetalne izmjene granite (kloritizaciju, hematitizaciju, sericitizaciju), dok pojava turmalina u vodotočnim sedimentima koji dreniraju granite i metamorfite ukazuje na pojavu grajzenske mineralizacije uzvodno od lokacije uzorkovanja. Analize potvrđuju da vodotočni sedimenti odražavaju geološku građu istraživanog terena i ukazuju na kasnije grajzenske i hidrotermalne izmjene.

Ključne riječi: grajzenska mineralizacija, vodotočni–sedimenti, mineraloške analize, planina Motajica, Dinaridi.

Summary: Igneous–metamorphic complex Motajica, is situated in northernmost part of the Bosnia and Herzegovina, parallel to the Sava river, along the border with Croatia. The mountain is a part of Sava–Vardar zone which belongs to Inner Dinarides and Hellenides. Central part of Motajica mountain is a granitic intrusion, surrounded by Cretaceous–Paleogene contact and regional metamorphic formations. Two kinds of stream–sediments were analysed: stream sediments from the creeks draining granite and stream sediments from the creeks draining both granite and metamorphic rocks. Granulometric analysis, method of magmatic separation and XRD analysis were performed. Analysed samples are predominantly composed of sand (39–78 mass %). Stream sediments from creeks draining granites contain larger amount of silt fraction (7–11 mass %), compared to the ones draining granite and metamorphic rocks. Analyses confirmed existence of typical minerals for granite rocks (quartz, plagioclase, feldspar, mica) and typical minerals for metamorphic rocks (amphibole, chlorite). Additionally, stream–sediment draining granites contain subordinate amounts of clay minerals, chlorite and hematite, interpreted as tracer of late–stage hydrothermal alterations of the granite (sericitization, chloritization, hematitization), whereas occurrence of tourmaline from stream–sediments associated with granite and metamorphic rocks is interpreted as tracer for greisen mineralization located upstream. Analysis confirm that analysed stream sediment directly reflects geology of the area together with later stage greisen and hydrothermal alterations.

Key words: greisen mineralization, stream–sediments, mineralogical analysis, Motajica Mt., Dinarides.

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Geografski položaj istraživnog područja	1
1.2. Geologija istraživnog područja	3
1.2.1. Geološka građa Sava–Vardar zone	3
1.2.2. Geološka građa Motajice	4
1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja	9
2. Materijali i metode	13
2.1. Uzorkovanje na terenu	13
2.2. Laboratorijske analize	15
2.2.1. Granulometrijska analiza sisanjem	16
2.2.2. Magnetna separacija	23
2.2.3. Analiza mineralnog sastava primjenom rendgenske difrakcije na prahu (XRD)	25
3. Rezultati	27
3.1. Određivanje granulometrije čestica zrna	27
3.2. Separacija mineralnih frakcija	28
3.3. Rezultati analiza mineralnog sastava primjenom rendgenske difrakcije na prahu (XRD)	31
4. Diskusija	33
4.1. Mineraloški sastav analiziranih vodotočnih sedimenata	33
4.1.1. Vodotočni sedimenti koji dreniraju granite	33
4.1.2. Vodotočni sedimenti koji dreniraju granite i okolne metamorfite	33
4.1.3. Granulometrijske analiza	34
4.1.4. Mineraloška analiza	34
4.2. Utjecaj okolne litologije na sastav vodotočnih sedimenata	34
4.2.1. Mineraloški sastav okolnih stijena	34
4.2.2. Usporedba litologije sa mineraloškim sastavom vodotočnih sedimenata	35
4.3. Praćenje orudnjenja pomoću analize vodotočnih sedimenata	36
5. Zaključak	37
6. Popis literature	38

Popis slika

Slika 1–1a. Geografski položaj istraživanog terena.....	2
Slika 1–1b. Topografska karta Motajice.....	2
Slika 1–2. Sava–Vardar zona.....	4
Slika 1–3. Osnovna geološka karta Motajice s lokacijama uzorkovanja.....	5
Slika 1–4. Geološki profil Motajice.....	9
Slika 2–1. Uzorkovanje vodotočnog sedimenta.....	13
Slika 2–2. Wentworthova klasifikacija i nomenklatura sedimenata.....	16
Slika 2–3 a. Granulometrijsko prosijavanje.....	17
Slika 2–3 b. Parna kupelj s različitim frakcijama.....	17
Slika 2–4. Granulometrijska krivulja uzorka MT34B.....	17
Slika 2–5. Granulometrijska krivulja uzorka MT35.....	18
Slika 2–6. Granulometrijska krivulja uzorka MT48C.....	19
Slika 2–7. Granulometrijska krivulja uzorka MT49A.....	20
Slika 2–8. Granulometrijska krivulja uzorka MT51B.....	21
Slika 2–9. Granulometrijska krivulja uzorka MT15.....	22
Slika 3–1. Magnetna frakcija uzorka MT34B pri jakosti struje od 0,4 A.....	29
Slika 3–2. Magnetna frakcija uzorka MT49A pri jakosti struje od 0,4 A.....	29
Slika 3–3. Nemagnetna frakcija uzorka MT49A.....	29
Slika 3–4. Magnetna frakcija uzorka MT49A pri jakosti struje od 1,2 A.....	29
Slika 3–5. Nemagnetna frakcija uzorka MT51B.....	29
Slika 3–6. Magnetna frakcija uzorka MT51B pri jakosti struje od 0,4 A.....	29
Slika 3–7. Magnetna frakcija uzorka MT51B pri jakosti struje od 0,4 A.....	30
Slika 3–8. Magnetna frakcija uzorka MT51B pri jakosti struje od 1,2 A.....	30
Slika 3–9. Nemagnetna frakcija uzorka MT15.....	30
Slika 3–10. Magnetna frakcija uzorka MT15 pri jakosti struje od 0,4 A.....	30
Slika 3–11. Magnetna frakcija uzorka MT15 pri jakosti struje od 1,2 A.....	30
Slika 3–12. Prikaz magnetne i nemagnetne frakcije uzorka MT51B.....	31
Slika 4–1. Izvorišna područja ispiranja uzoraka vodotočnih sedimenata.....	37

Popis tablica

Tablica 2–1. Popis uzoraka i metoda kojima su podvrgnuti.....	14
Tablica 2–2. Popis uzoraka, granulometrijskih i magnetnih frakcija te napravljenih rendgenskih snimaka.....	15
Tablica 2–3. Standardni uvjeti pri magnetnoj separaciji.....	24
Tablica 3–1. Rezultati granulometrijske analize.....	27
Tablica 3–2. Rezultati granulometrijske analize.....	27
Tablica 3–3. Trokomponentni dijagram.....	28
Tablica 3–4. Mineralni sastav originalnih uzoraka vodotočnog sedimenta Motajice.....	31
Tablica 3–5. Mineralni sastav magnetski separiranih uzoraka vodotočnog sedimenta Motajice.....	32

Popis kratica

Qtz – kvarc

Pl – plagioklas

Fld – feldspat

10Å – minerali iz skupine tinjaca

Chl – klorit

Amp – amfibol

Hem – hematit

A – amper

m.n.m. – metara nad morem

Korištene oznake pri određivanju mineralnog sastava su sljedeće:

+ – relativni udio minerala na difrakcijskoj slici

+++ glavna mineralna faza

++ sporedna mineralna faza

+ mineralna faza u tragovima

? – postoje indicije o prisutnosti minerala, ali se ne može sa sigurnošću utvrditi (zbog malog udjela u uzorku i/ili zbog preklapanja difrakcijske slike s difrakcijskim slikama drugih mineralnih faza).

1. Uvod

Istraživano područje je planinski masiv Motajica na sjeveru Bosne i Hercegovine. Granitni pluton, površine od oko 50 km², je sama jezgra masiva. Korita istraživanih potoka smještena su u granitnim stijenama čiji su dijelovi intenzivno grajzenizirani. Pojas grajzenizacije dugačak je 2 km i širok više od stotinu metara, ali je relativno plitak i obuhvaća manje od 1% granitnog plutona.

Grajzenizacija je hidrotermalna alteracija granitne stijene koja se sastoji od kvarca i tinjaca (obično litijskih) s promjenjivim količinama topaza, turmalina, fluorita ili drugih minerala bogatih fluorom ili borom (Burt, 1981). Grajzeni su rezultat postmagmatskih metasomatskih procesa koji se odvijaju unutar gotovo konsolidiranog granitnog tijela i okolnih stijena. Ovi procesi uključuju koncentraciju volatilnih komponenti poput F, B, Li i povećanu koncentraciju i aktivitet Na⁺, K⁺ i H⁺ iona u rashlađenom granitnom tijelu. Grajzeni su obično asociirani s mineralizacijom Sn, W, Mo, Be, Bi, Li i F, stoga su tipični akcesorni minerali koji se pojavljuju u grajzenu volframit, šelit, fluorit i molibdenit (Pirajno, 1992).

Tijekom pneumatolize (oblik kontaktnog metamorfizma kada pare i plinovi iz magme djeluju na okolno stijenje) dolazi do intenzivne silicifikacije, muskovitizacije i sericitizacije primarnih granitnih minerala, posebice feldspata. Grajzenizirani granit je sitnozrna porozna stijena koja sadrži 60–80% kvarca, 10–30% muskovita i sericita te do 10% ostalih minerala, najčešće cirkon, apatit, titanit, relikti mikroklina i biotita, šelit, hubernit, pirit. Struktura grajzena je zrnata, a tekstura alotriomorfna do hipidiomorfna, rijetko porfirna ili kataklastična (Varićak, 1966).

Cilj ovog rada je ispitati mineraloške karakteristike vodotočnih sedimenata Motajice sa svrhom otkrivanja eventualne grajzenske mineralizacije pomoću slijedeće metodologije: 1) granulometrijske analize vodotočnih sedimenata; 2) separacije granulometrijskih frakcija pomoću magnetnog separatora i stereoskopske lupe; 3) rendgenske difrakcijske analize izdvojenih frakcija; 4) korelacije rezultata istraživanja sa prikupljenim literaturnim podacima.

1.1. Geografski položaj istraživanog područja

Motajica je planinski masiv koji se nalazi na graničnom dijelu Bosne i Hercegovine i Slavonije u Hrvatskoj. Sjeverni rub Motajice je omeđen koritom rijeke Save, istočni rub rijekom Povelić, a zapadni rijekom Velikom Ukrinom.



Slika 1–1a i slika 1–1b. Na slici 1–1a je geografski položaj istraživanog terena u odnosu na susjedne države. Na slici 1–1b je isječak topografske karte Motajice izvornog mjerila 1:300 000 (Dinarsko gorje: Motajica. <https://www.dinarskogorje.com/motajica.html>, 16.3.2020).

Duljina smjera pružanja masiva (SZ–JI) iznosi oko 25 km, širina oko 15 km, a ukupna površina je oko 200 km². Gradina, kao najviši vrh Motajice, se nalazi na 652 m nadmorske visine. Najveći dio planine nalazi se u općini Srbac, a manji dio, odnosno motajičko pobrđe, nalazi se u općinama Derventa i Prnjavor. Reljef oko rijeke Save i Vrbas je izrazito ravničarski, tako da se Motajica, usprkos maloj visini njezinih vrhova, izdvaja svojom visinom.

Hidrografska mreža Motajice je relativno gusta. Svi vodeni tokovi sjeverno od grebena teku direktno u Savu, a oni južno od grebena dijelom preko rijeke Povelic, a dijelom neposredno u Vrbas, odnosno Ukrinu. Glavni drenažni pravci Motajice većinom su orijentirani upravo na smjer izduženja masiva.

1.2. Geologija istraživanog područja

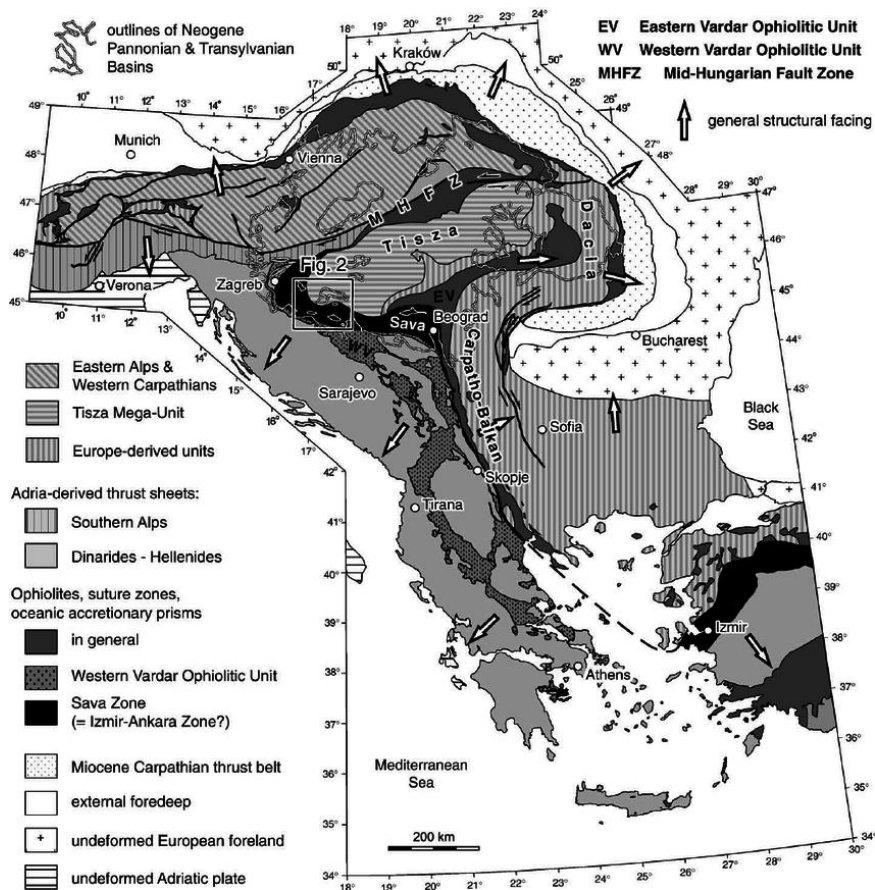
Geološka građa masiva vrlo je složena. Granitoidni pluton Motajice, zajedno sa kontaktno i regionalno metamorfnim formacijama dio je Sava–Vardar zone.

1.2.1. Geološka građa Sava–Vardar zone

Sava–Vardar zona (SVZ), duga oko 1000 km, predstavlja unutarnju tektonostratigrafsku jedinicu Dinarida i Helenida (Slika 1–2). Istočni orogen Dinarida i Helenida nastao je kolizijom Jadranske ploče koncem krede s pločama koje su bile dio Europske ploče, pri čemu je Jadranska ploča tonula. Najsjeverniji dio ove konvergentne granice ploča duž sjeverne granice unutarjih Dinarida opisan je kao Sava–Vardar zona. Schmid i suradnici (2008) su nazvali ovo područje "Sava zona" kako bi se razlikovalo od Vardar zone u kojoj je smještena glavina ofiolita Dinarida i Helenida.

Sava zona razdvaja Dinaride od susjedne sjevernoistočne jedinice Tisze odvojene tijekom jure od europske ploče, i neposredno se nastavlja na Zagorje–Mid transdanubijsku zonu (Mid–Hungarian fault zonu)

Sava zonu čine post–hercinske stijene metamorfozirane do amfibolitnog facijesa. Između Beograda i Egejskog mora Sava zonu čini svega nekoliko kilometara širok pojas gornjokrednog fliša. U blizini Beograda dolazi do promjene litologije; 50 km širok pojas gornjokrednih ofiolita, magmatskih i metamorfnih stijena pružanja paralelnog s tokom rijeke Save. Između Zagreba i Beograda ove stijene Sava zone pojavljuju se na površini na samo nekoliko izoliranih područja. Djelomično metamorfozirane gornjokredne magmatske i sedimentne sukcesije Sava zone prekrivene su paleogenskim sedimentima (Ustaszewski, 2010).



Slika 1–2. Položaj Sava–Vardar zone u odnosu na tektonske jedinice Dinarida i Helenida. (Ustaszewski, 2010).

1.2.2. Geološka građa Motajice

Središnji dijelovi Motajice izgrađeni su od oligocenskih granita i pratećih kontaktno metamorfnih stijena kredno–paleogenske starosti, a periferni dijelovi su fliševi kredno–paleogenske starosti metamorfozirani intruzijom granita, što znači da je nastupio kontaktni metamorfizam.

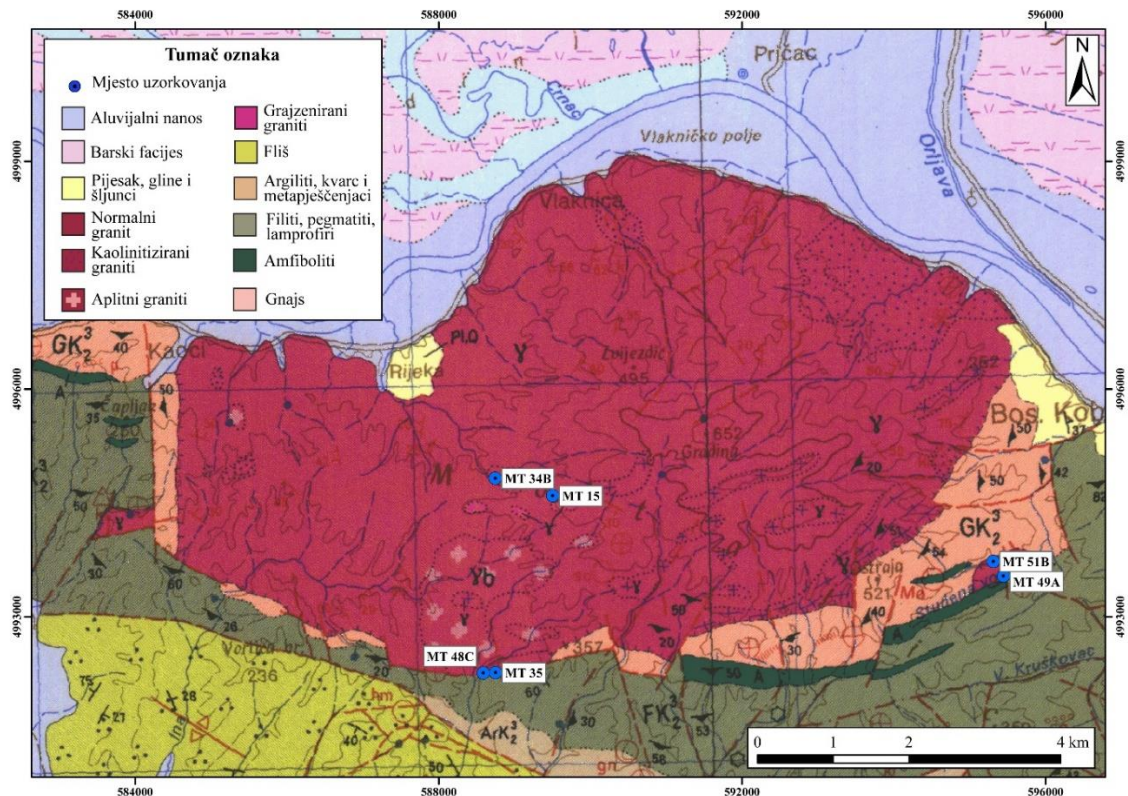
1.2.2.1. Oligocenski graniti

Granitno tijelo zauzima sjeverni i središnji dio masiva te oblikom odgovara štoku. Starost granitne intruzije dobivena je U–Pb metodom datiranja cirkona i monacita, a iznosi oko 26,7 mil.god., što odgovara oligocenu, odnosno gornjem paleogenu. Ekshumacija ove intruzije trajala je svega oko 14 milijuna godina.

Granitoidi Motajice formiraju plutonsko tijelo od 50 km² koje je intrudiralo kroz gornjokredne i paleogenske fliševe koji su prilikom toga metamorfozirani do srednjeg stupnja metamorfoze. Pluton je u središtu teksturno izotropan, ali se vidi folijacija na rubovima. U granitoidima s folijacijom, kvarc i feldspat pokazuju undulozno potamnjenje. Coisit/clinokoisit i epidot, često u izduženim pojasevima paralelnim s folijacijom, potiskuju primarne K–feldspate i plagioklase. Kontakt sa susjednim jedinicama je oštar. Lokalno se primjećuje naglo povećanje porfiroblasta tinjaca, gdje sitnozrni filiti iz facijesa zelenih škriljavaca naliježu na granitoid. Taj se prijelaz pojavljuje na udaljenosti od 100 do 150

m. Na jednom lokalitetu pronađeni su porfiroblasti andaluzita i bijelih tinjaca u metapelitima na kontaktu s intruzijom. Andaluzit formira pseudomorfne oblike po vlaknastom silimanitu, što sugerira da postiže regionalni metamorfizam.

Postoji 6 granitnih tipova na području plutona, a to su normalni graniti, graniti "zamrznutih rubova", leukokrati graniti, aplitoidni graniti, grajzenizirani graniti i kaolinizirani graniti. (Varićak, 1966).



Slika 1–3: Isječak lista Osnovne geološke karte na kojoj se nalazi planina Motajica s označenim lokacijama uzorkovanja vodotočnih sedimenata.

Najzastupljeniji od izdvojenih tipova granita je tzv. normalni granit, koji obuhvaća oko 75% područja granitoidnog plutona. Najčešće imaju hipidiomorfnu zrnatu strukturu, rjeđe mirmekitsku, poikilitsku ili kataklastičnu. To je masivna, sitnozrnata stijena svjetlo sive boje u čijem sastavu jasno razlikujemo kvarc, feldspate i obično oba tinjca (muskovit i biotit) kao glavne minerale. Kvarc je alotriomorfna, potamnjuje undulozno i vrlo često je razlomljen kao posljedica djelovanja pritiska i čini i više od 35% stijene. Feldspati (ortoklas i mikroklin) su najčešće sericitizirani i kaolinizirani, a čine oko 30% normalnog granita. Tinjci su mehanički deformirani, biotit je djelomično ili u potpunosti kloritiziran i ima ga oko 3% u stijeni, dok muskovita ima ga nešto više, do 7%. Kao akcesorni minerali pojavljuju se cirkon, titanit, monacit, turmalin, fluorit, rutil, pirit, a kao sekundarni klorit, sericit, limonit, minerali glina (Varićak, 1966).

Promatran makroskopski, granit "zamrznutih rubova" je masivna, jako sitnozrnata, siva stijena čiji glavni sastav čine kvarc, feldspati i biotit. Homogene je teksture, dok je struktura, kao i kod normalnog granita, često mirmekitska te katkad kataklastična i poikilitična.

Leukokratni granit je masivna, sitnozrnata stijena bijelo–sive boje, izgrađena pretežito od kvarca, feldspata i muskovita. Homogene je teksture, a hipidiomorfne zrnate strukture koja ponekad prelazi u porfiroidnu.

Aplitoidni granit je većinom homogena, sitnozrnata, bijela stijena u čijem sastavu jasno razlikujemo kvarc, feldspate i oba tinjca (muskovit i biotit). Homogene je teksture, dok je struktura hipidiomorfna zrnata, a ponekad i kataklastična.

Grajzenizirani granit je porozna, sitnozrnata bijela stijena sa čestim žutim, smeđim i crvenim izmijenjenim dijelovima. Čine je dominantno kvarc, muskovit i sericit kao glavni sastojci. Od ostalih minerala prisutni su mikroklin i biotit isključivo kao relikti te cirkon, apatit, titanit, limonit.

Na temelju geokemije glavnih elemenata i elemenata u tragovima, kao i Sr–izotopskih podataka, granitoidi su najprije smatrani S–tipom, a kasnije, uz pomoć više prikupljenih podataka, kao prijelazni između S i I–tipa. (Ustaszewski, 2010).

Pluton i njegova krovina ispresijecani su brojnim granitnim žilama, među kojima su zastupljeni granit porfiri, lamprofiri, pegmatiti, apliti i žile kvarca.

1.2.2.2. Kontaktno–metamorfne stijene

Kontaktne metamorfne stijene, odnosno kontaktoliti, zahvaćaju južni i zapadni rub granitnog plutona (Slika 1–3). Tinjčasti škriljavci i para–gnajsevi Motajice se nalaze uz rub granitne intruzije te su kredne starosti, točnije kampanske (Ustaszewski, 2010), i oni čine najveći udio u zoni kontaktnog pojasa, gnajsevi oko 50%, a tinjčasti škriljavci oko 25% (Varićak, 1966). Zajedno s amfibolitima i metapelitima, paragnajsevi također pripadaju amfibolitnom facijesu. Metapeliti su uglavnom tinjčasti škriljavci koji sadrže staurolit i/ili granat (Ustaszewski, 2010).

Navedene stijene su nastale kontaktnim metamorfizmom okolnih gornjokrednih fliševa kao posljedica granitne intruzije krajem paleogena. Kredno–paleogenske siliciklastične formacije na sjeveru Motajice prethodno su pretrpjele Barrovian–tip metamorfizma na temperaturama od oko 550°C do 630°C pod tlakom od oko 5 do 7 kilobara. Sporo hlađenje trajalo je tijekom cijelog paleogena (Ustaszewski, 2010).

Migmatiti su rijetki, često škriljave teksture, a porfiroblastične i kataklastične strukture. Sastoji se od kvarca, plagioklasa, ortoklasa, mikrokлина, muskovita i biotita. Kontaktni metamorfizam, pri kojem su formirani migmatiti, u skladu sa karakterističnom mineralnom asocijacijom gnajseva, dogodio se pod uvjetima hornblenda–hornfels facijesa (Varićak, 1966).

Razlikujemo 3 tipa gnajseva: dvotinčasti, amfibolitni i albitski. Dvotinčasti se sastoje od kvarca, plagioklasa, mikrokлина, biotita, muskovita. Nastali su kao produkt kontaktne metamorfoze škriljavaca. Amfiboliti gnajsevi u svom sastavu imaju kvarc, plagioklas, biotit, hornblendu. Nastali su kontaktnim metamorfizmom varijeteta kalcit–sericit–kloritskih škriljavaca. Albitski gnajsevi se sastoje od kvarca, albita, muskovita i karbonatnih minerala. Izvorne stijene, iz koje su zatim nastali kontaktnom metamorfozom, su sericitski škriljavci i sericit filiti (Varićak, 1966).

Korniti se dijele na biotitske i piroksenske. Biotitski sadrže kvarc, plagioklas, kordijerit, muskovit, biotit i porfiroblastične su strukture, a nastali su kontaktnim metamorfizmom pjeskovitih glina, sericit filita i kvarcnih škriljavaca. Piroksenski korniti su granoblastične strukture i sastoje se od kvarca, bitovnita i piroksena. Nastali su kontaktnom metamorfozom pod utjecajem kontaktne hidrometasomatoze (Varićak, 1966).

Hornblenditi su stijene čiji glavni sastav čine plagioklas i hornblenda, a kao sporedni minerali dolaze apatit, magnetit, titanit. Nastali u kontaktnom metamorfozom gabroida.

Amfiboliti se sastoje od plagioklasa i hornblende kao bitnih minerala i olivina, granata, apatita, magnetita, titanita kao sporednih minerala. Homogene su teksture, do škriljave, a najčešće granoblastične strukture. Nastanak ovih stijena vezan je za termometamorfizam raznih bazičnih eruptiva (Varićak, 1966).

Glaukofanit čine glaukofan, epidot, klinocoisit. Homogene su teksture, rjeđe škriljave, a granoblastične strukture. Primarne stijene, od kojih su nastali kontaktnim metamorfizmom, su očvrtnuti baziti ili njihovi kontaktno metamorfozirani varijeteti.

1.2.2.3. Kredno–paleogenski fliš

Regionalno metamorfozirane stijene izgrađuju periferne dijelove masiva.

Južnu polovicu Motajice čine niskotemperaturni šejlovi i umjereno do dobro sortirani pješčenjaci. Prisutni minerali, koji su određeni XRD metodom, su kvarc, kalcit, klorit, muskovit i feldspati. Analizama određenih frakcija dobiveni su podaci koji ukazuju na niske temperature ($\approx 200^{\circ}\text{C}$ – 300°C), na temelju čega je zaključeno da se radi o niskom stupnju regionalnog metamorfizma. Filiti naliježu na tanki sloj amfibolita koji su podvrgnuti kontaktnom metamorfizmu, a na filite naliježu niskotemperaturni šejlovi i pješčenjaci. Oni predstavljaju monotonu sukcesiju siromašnu kvarcom i litološki su usporedivi sa prosarskim filitima. Progradni rast klorita, biotita i bijelih tinjaca ukazuje na to da su bili postignuti uvjeti nastanka facijesa zelenih škriljavaca. Na to također ukazuje i prisutnost epidota i coisita/klinocoisita u strukturno nižim dijelovima sukcesije (Ustaszewski, 2010).

Kredno–paleogenski fliš na mjestima nije metamorfoziran i kao takav se sastoji od konglomerata. Tekstura konglomerata je masivna, a struktura krupnozrnata. U sastavu dominiraju kvarcni škriljavci i monomineralni agregati kvarca, dok su feldspati i muskovit zastupljeni vrlo skromno. Pješčenjaci

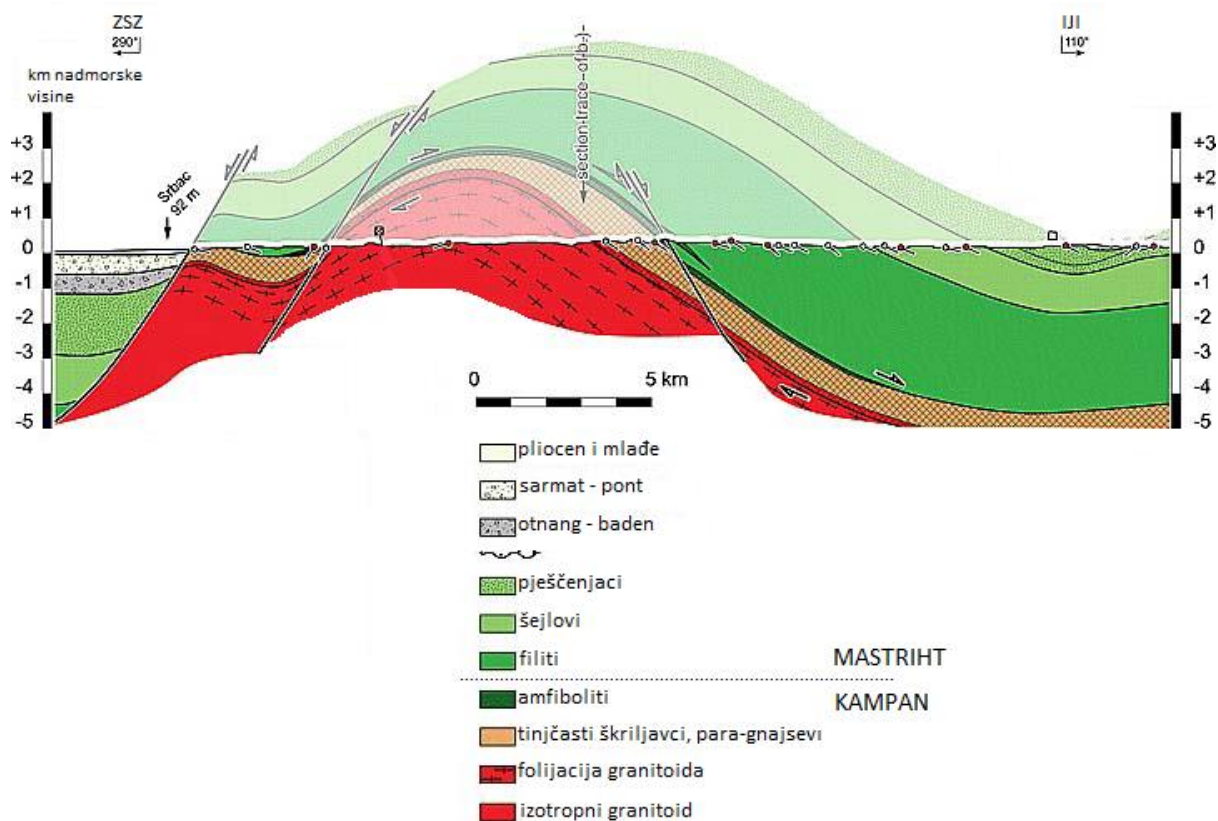
predstavljaju najzastupljeniju stijensku vrstu u svim dijelovima Motajice gdje su otkriveni sedimenti flišne zone (Varićak, 1966). Odgovaraju klastičnim stijenama krupnozrnate strukture. Veliku količinu klastičnih fragmenata čine krhotine raznih minerala među kojima prevladavaju kvarc, albit i albit–oligoklas, mikroklin, ortoklas, muskovit i sericit, dok su biotit, klorit, kalcit i opaki minerali akcesorni.

Grauvake su ravnomjernije raspoređene na cijelom području flišne zone. Paralelno prugaste su tekture i alevropelitske strukture. Stijenu čine očvrnuti klastiti kvarca, feldspata, sericita, muskovita, biotita i klorita, a kao vezivno sredstvo služe prvenstveno minerali glina, ali dokazano je i epigenetsko potiskivanje glinovitog veziva kalcitnim (Varićak, 1966).

Vapnenci dolaze u srednjim razinama sedimenata flišoidne zone gornje krede. Teksturno su masivni, dok je struktura sitno i krupno kristalasta. Mineralni sastav čini kalcitna osnova (više od 90% stijene) i relikti organskih tvari. Rijetki su klastični fragmenti kvarca, plagioklasa, kalijskih feldspata i klorita.

1.2.2.3. Krovinske naslage

Kao pokrov sedimenata gornje krede dolaze sedimenti miocena i gornjeg pliocena. Ovi terasni sedimenti naliježu diskordantno na granit, na paleogenske škriljavce i na gornjokredne sedimente. Izbijaju na površinu na sjeveroistočnim dijelovima Motajice (Miljuš, 1961). Zastupljeni su uglavnom pelitni, uglavnom dobro sortirani sedimenti veoma niskog stupnja dijageneze. Najčešći litološki članovi su gline i alevritične gline uz koje dolaze i montmorilonitne gline, razne pjeskovite do slabo šljunkovite gline te pješčenjaci.



Slika 1–4. Geološki profil Motajice na kojem se nalazi intruzija, kontaktno metamorfozirane i regionalno metamorfozirane stijene te miocenske i pliocenske pokrovne naslage (Ustaszewski, 2010).

1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja

Počeci ispitivanja terena Motajice datiraju od prije jednog stoljeća.

Najstarije podatke o geologiji masiva daje Paul (1872). Kao prvi geolog koji je stupio na tlo Motajice, tvrdi da su sjeverne padine masiva na uže, prostoru Bosanskog Kobaša izgrađene isključivo od gnajsa.

Mojsisowicz, Tietze, Bittner i John (1880) u svom zajedničkom radu navode da Motajica pripada posebnoj tektonskoj jedinici bosansko–hercegovačkih planina. Nagovještaju i postojanje izvjesnih analogija u geotektonskom položaju i stratigrafskim obilježjima Motajice i Sljemena. Iznose i prve podatke o eksploataciji motajičkog granita.

Pilar (1882) utvrđuje prisustvo lamelarnih plagioklasa, relativno obilno zastupljenog apatita i rijetkog magnetita u granitu.

Autor prvog mineraloškog rada o Motajici je Koch (1889). On po prvi put spominje prisustvo amfibolitnih škriljavaca na Motajici i detaljno opisuje berile i pegmatite kao njihove stijene nosioce.

Katzer (1903) povezuje paleozojske filitoidne škriljavce Motajice sa onima u području Drine i ukazuje na teškoće njihove korelacije sa odgovarajućim predstavnicima starih škriljavih masa Slavonije.

Posljednji rad Kocha (1908) o Motajici predstavlja najznačajniju dosadašnju petrografsku publikaciju o ovom terenu. Govori o nekoliko varijeteta granita kao i o metamorfizima. Kod granita otkriva i opisuje njegove dotada nepoznate mineralne sastojke: mikroklin, cirkon, turmalin, hematit, epidot, granat i rutil. Od metamorfita definira gnajseve, tinjčaste, amfibolitske i aktinolitne škriljavce te filite.

Katzer i suradnici (1910;1912) i Katzer (1921;1926) obavili su geološko kartiranje Motajice u 4 rada. Katzer je dao osnovu za rješavanje problema starosti i porijekla metamorfita navodeći da njihove primarne materijale predstavljaju razni sedimenti i eruptivi prekarbonske do najviše karbonske starosti. Utvrdio je i konkordanciju metamorfita s granitoidnim plutonom. Prvi put su uočeni granit porfiri i apliti te opisan granit s visokim stupnjem kaolinizacije.

U radovima Ilića (1953) i Stangaćilovića (1956) utvrđen je mineraloški sastav kaoliniziranog granita kako slijedi: kvarc, ortoklas, plagioklas, kaolinit i ilit te podređeno sericit, biotit i magnetit.

Motajički beril iz pegmatita je predmet rada Barića (1960) gdje se nalazi opis jedne potpuno nove berilske forme.

Miljuš (1961) daje važne podatke o razvoju gornjokrednih i neogenskih sedimenata Motajice. Dao je i prikaz uzdužnih rasjeda na južnom rubu Motajice, duž kojih je u toku miocena i pliocena dolazilo do tonjenja obodnih dijelova masiva.

Nikolić (1962) u svom radu navodi da je berilska mineralizacija na Motajici pretežno pegmatitsko–metasomatskog tipa.

Prvu odredbu apsolutne starosti granita Motajice dao je Deleon (1963). Dobiveni rezultat je starost oko 9 mil.god., ali uzima taj podatak sa rezervom.

Pamić i Jelaska (1975) naglašavaju metamorfizam krednih vulkano–sedimentnih slijedova na južnim padinama Motajice.

Karamata (1976) uspoređuje eroziju Motajice s onom na Prosari i prema tome ukazuje na dublju eroziju plutona na Motajici u odnosu na plitku eroziju Prosare.

Pamić (1975) smatra da su metamorfiti Motajice nastali metamorfizmom gornjokrednih sedimenata. Postoje i mišljenja kako su različite metamorfne stijene Prosare nastale iz sedimenata gornje krede i paleogena.

Pamić i Prohić (1989) dokazuju postupne promjene gornjokrednih sedimenata Motajice pri vrlo niskim P–T uvjetima. Utvrđuju prisutnost kloritoida, staurolita i turmalina u škriljancima. Određuju uzonu migmatita između metamorfita i granita. Motajički granit smatraju monzogranitom i granodioritom.

Pamić i Lanphere (1991 i 1992) objavili su starosti motajičkih i prosarskih granitoida dobivenih Rb–Sr metodom datiranja iz tri granitna uzorka. Dobivena je starost intruzije od $48,7 \pm 1,5$ mil.god., dok mlađi biotit, čija je dobivena starost od 18,1 mil.god., može predstavljati razdoblje hlađenja intruzije.

Pamić i Balen (2001) magmatske stijene Motajice i Prosare smatraju eocenskim sinkolizijskim granitoidima.

Jurković (2004) daje podatke o paragenezama elemenata migmatita, pegmatita, grajzena i kvarcnih žila što govori o porijeklu magme koja je najvjerojatnije formirana "slabim break-off modelom". Erozija motajičkog granitnog plutona je duboka pa su se otvorila brojna ležišta pegmatita. Silicifikacija i muskovitizacija su glavne značajke granitoida zahvaćenih grajzenizacijom (njih manje od 1%) uz koje se povezuju mineralizacije molibdenita, volframita, hibernita, šelita, fluorita.

Krenn i suradnici (2008) koriste Th–U–Pb metodu datiranja monacita iz metapelita amfibolitnog facijesa i dobivaju starost od 63 ± 9 milijuna godina, što ukazuje na gornjokrednu do donjopaleogensku starost metamorfizma fliševa.

U svom radu Ustaszewski (2010) smatra Savsku zonu sjevernih Dinarida granicom jadranske i europske ploče. Sava zona je nastala uslijed zatvaranja Melliata–Vardar oceana između Adria ploče i europskog kopna (više malih ploča od kojih je jedna Tisza) pri čemu Tisza naliježe na Adriu. Taj događaj slijedi sinkolizijska tektonska deformacija pri temperaturama oko 550°C do 630°C i tlakovima od 5 do 7 kilobara, što odgovara naliježećim naslagama od 15 do 21 km, nakon čega slijedi hlađenje sve do paleogena. Fission track metodom dobivena je starost motajičkog granita koja je zatim modelirana na 27 mil.god. Mlađi apatiti i cirkoni (između 21 i 14 milijuna godina) ukazuju na ekshumaciju i daljnje hlađenje do facijesa zelenih škriljavaca.

Hipoteza

Hipoteze ovog rada su sljedeće:

- Mineraloški sastav vodotočnih sedimenata Motajice odražava geološku građu dreniranog terena.
- Jedinstvene minerale karakteristične za građenizirane granite (topaz, turmalin, fluorit, kasiterit i druge kontaktno–metamorfne minerale) moguće je odvojiti i koncentrirati korištenjem stereoskopske lupe i magnetne separacije iz vodotočnih sedimenata.
- Mineraloška će karakterizacija vodotočnih sedimenata dati sliku o eventualnom orudnjenju ili geokemijskim anomalijama u dreniranom terenu.

2. Materijali i metode

2.1. Uzorkovanje na terenu

Uzorci vodotočnog sedimenta uzeti su na planini Motajici na lokacijama označenim na slici 1–3. Prikupljeno je 6 uzoraka vodotočnog sedimenta koje smo u svrhu izrade ovog rada analizirali laboratorijskim metodama (Tablica 2–1) opisanim u sljedećim poglavljima.

Uzorci MT34B, MT35 i MT48C uzeti su u potocima koji dreniraju samo granite, a uzorci MT49A i MT51B dreniraju granite i okolne metamorfite.

Na temelju analize mineralošskog sastava želi se utvrditi; odražavaju li uzorci geološku građu dreniranog terena, ima li razlika između uzoraka uzetih iz potoka koji dreniraju samo granite (MT34B, MT35 i MT48C) i uzoraka MT49A i MT51B koji djelomično dreniraju i metamorfite te postoji li geokemijska anomalija koja bi mogla upućivati na orudnjenje.

Uzorci vodotočnog sedimenta uzimani su na područjima koncentracije teških minerala (Slika 2–1) kao što su nagla produbljivanja vode, područja proširivanja toka na kojima snaga vode opada, te općenito na mirnijim i dubljim dijelovima potoka koji sadrže sitniju frakciju. Uzorci su uzimani špahtlom na dubini od 10 do 15 centimetara. Prosječna težina uzorka jest otprilike 500 g. Uzorci su stavljani u plastične vrećice na kojima je vodootpornim markerom označen terenski broj uzorka i eventualne napomene.



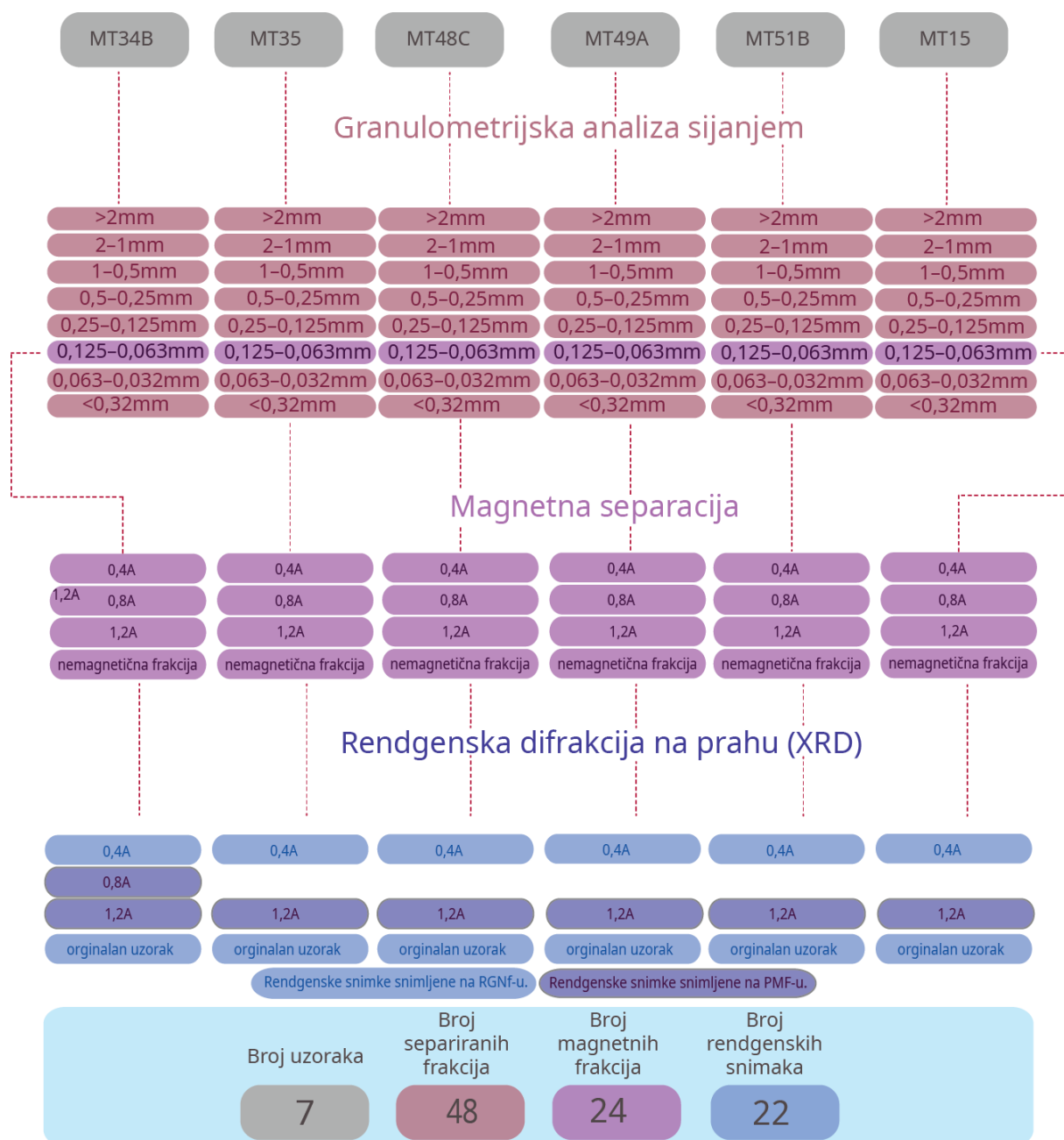
Slika 2–1. Odabir najpovoljnije lokacije i uzorkovanje vodotočnog sedimenta.

Tablica 2–1. Popis uzoraka i metoda kojima su podvrgnuti.

Terenska oznaka uzorka	Vrsta uzorka	Lokacija uzorkovanja	Granulometrijska analiza sijanjem	Magnetna separacija	Rendgenska difrakcija na prahu (XRD)
MT34B	vodotočni sediment	T253 (x:6471069, y:4993777, 240 m.n.m.)	+	+	+
MT35	vodotočni sediment	T253 (x:6471026, y:4993788,214 m.n.m.)	+	+	+
MT48C	vodotočni sediment	T262 (x:6470865, y:4991218, 197 m.n.m.)	+	+	+
MT49A	vodotočni sediment	T263 (x:6477746, y:4992369, 201 m.n.m.)	+	+	+
MT51B	vodotočni sediment	T265 (x:6477615, y:4992561, 181 m.n.m.)	+	+	+
MT15	vodotočni sediment	T241 (x:6471822, y:4997883, 388 m.n.m.)	+	+	+

2.2. Laboratorijske analize

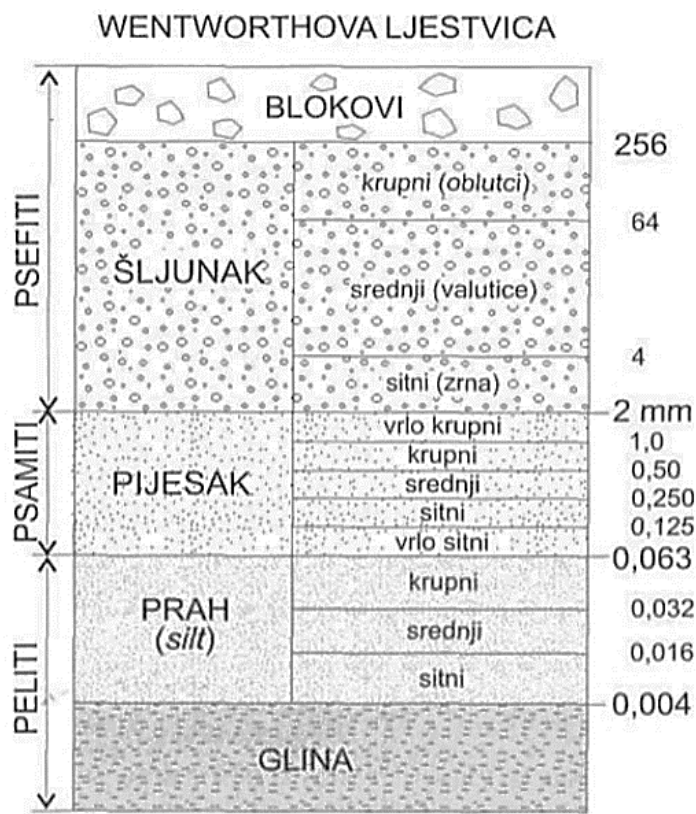
Tablica 2–2. Prikaz popisa uzoraka, granulometrijskih i magnetnih frakcija te napravljenih rendgenskih snimaka.



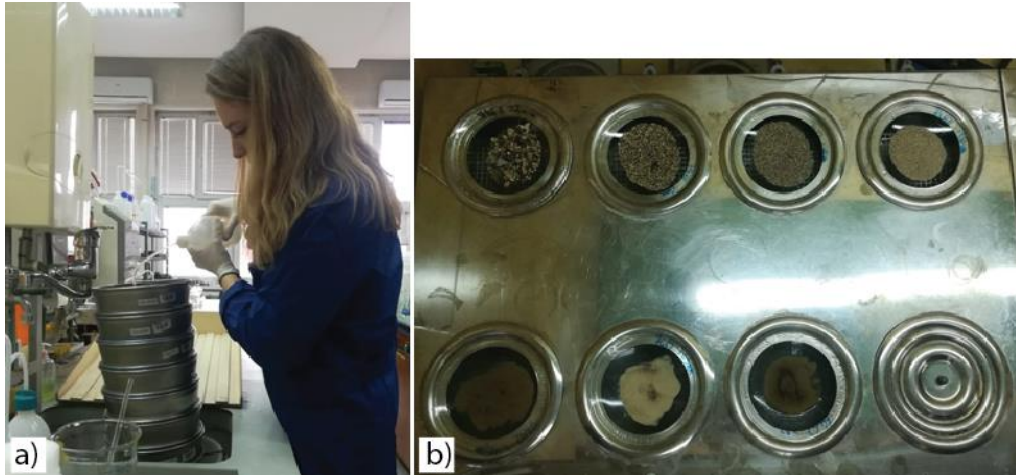
2.2.1. Granulometrijska analiza sijanjem

Po ulasku u laboratorij uzorci su homogenizirani i četvrtani. Uzorci su zatim izvagani laboratorijskom vagom, a odvagani dijelovi pomiješani s otprilike 400 ml destilirane vode. Uzorci su dezintegrirani, odnosno rastavljeni na sastavne dijelove pri čemu ne smije doći do razbijanja zrna (Tišljarić, 2004). Uzorci tretirani u ultrazvučnoj kupelji tijekom 15 minuta kako bi se separirale čestice različitih frakcija uzoraka.

Granulometrija čestica određivana je prema Wentworth–ovoj klasifikaciji zrna (Slika 2–2). Korištena su sita sljedećih dimenzija: 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,125mm, 0,063mm i 0,032mm. Sijanje je obavljeno kroz 7 sita (Slika 2–3a). Kad je završeno prosijavanje kroz sito najkrupnijih dimenzija, ono se uklanja s kompleta i odvajaju se čestice frakcije veće od dva milimetra. Postupak ponavljamo za svako sito. Čestice koje pripadaju frakciji manjoj od 0,032mm prolaze kroz sito najsitnijih dimenzija nalaze se u prosjevu, u tekućini kojom se prosijavalo. Sve prosijane frakcije i prosjev tretiramo u parnoj kupelji (Slika 2–3b) kako bi ih osušili i zatim važemo.



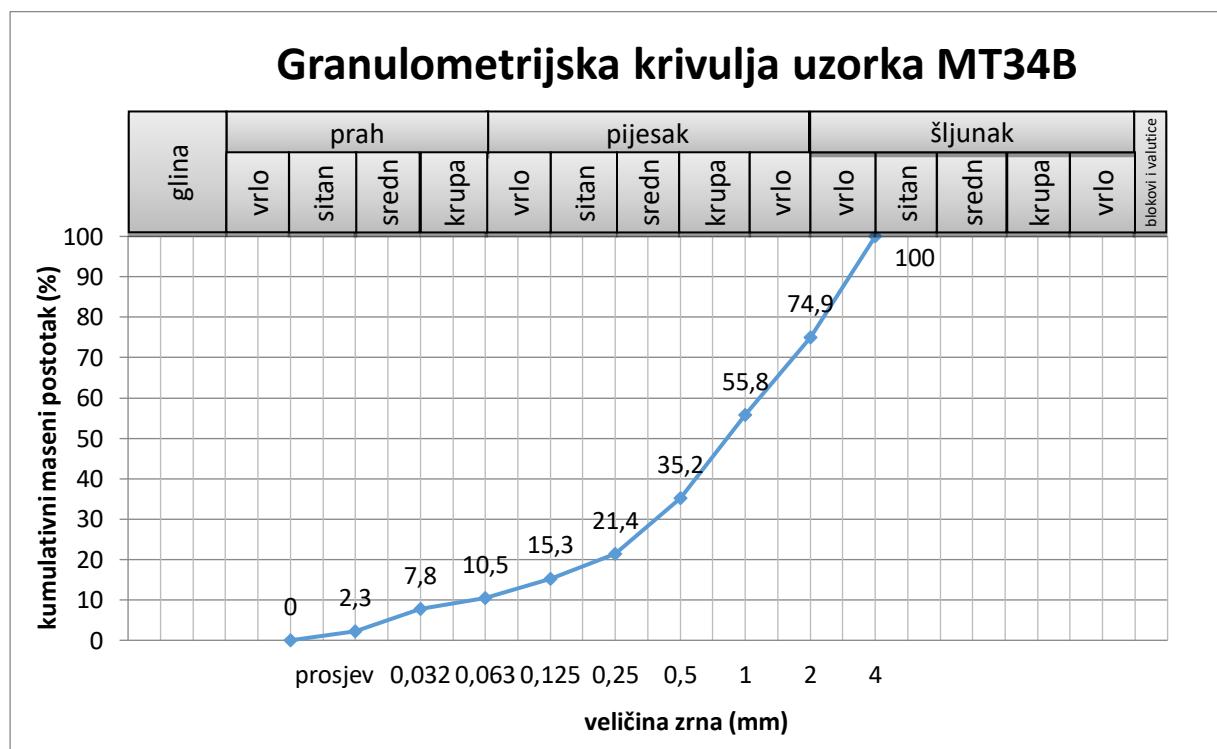
Slika 2–2. Wentworthova klasifikacija i nomenklatura sedimenata (Tišljarić, 2004).



Slika 2–3 a i b. Slika 2–3 a prikazuje postupak granulometrijskog prosijavanja sedimenata i korištena sita. Slika 2–3 b prikazuje parnu kupelj na kojoj se nalaze frakcije različite veličine koje pripadaju uzorku **MT34B**.

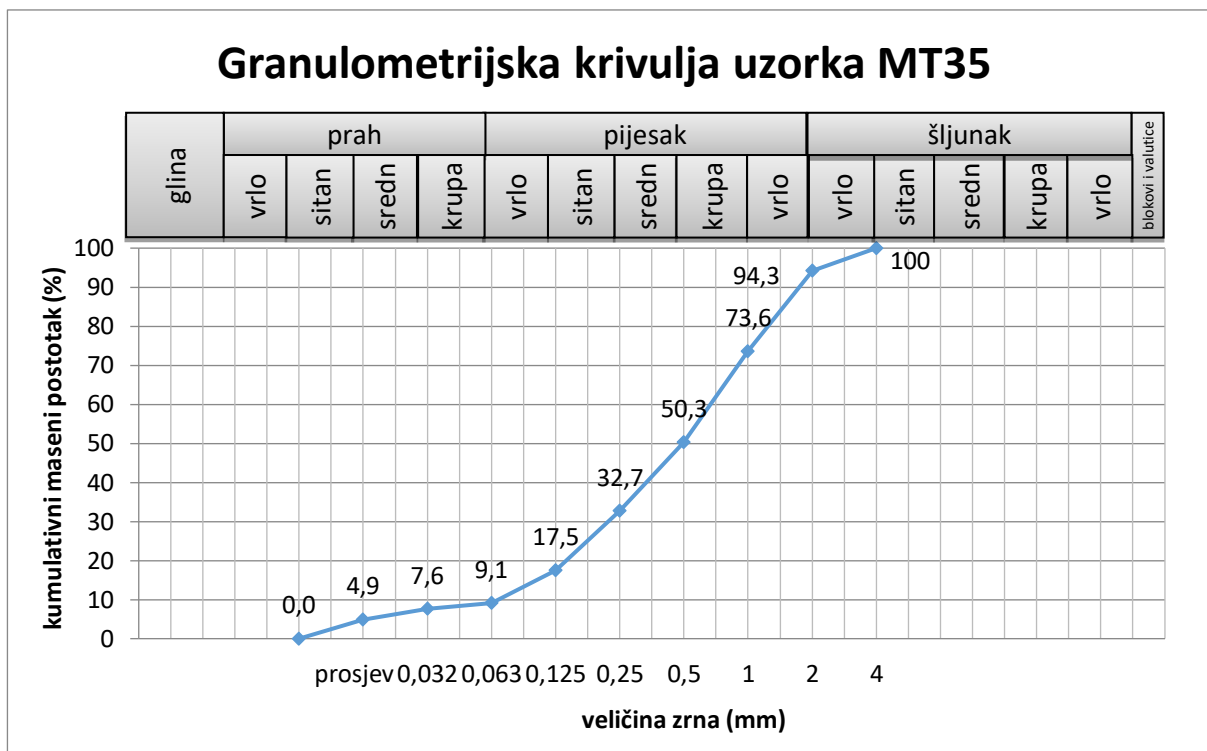
Iz odnosa ukupne mase uzorka i masa određenih frakcija izračunat je kumulativan postotak prolaza zrna kroz sito.

Granulometrijska krivulja vodotočnog sedimenta **MT34B** (Slika 2–4) sastoji se od 25 masenih % frakcije vrlo sitnog šljunka, 19 masenih % frakcije vrlo krupnog pijeska, 20 masenih % frakcije krupnog pijeska, 13 masenih % frakcije srednjeg pijeska, 6 masenih % frakcije sitnog pijeska, 4 masenih % frakcije krupnog praha, 2 masenih % frakcije srednjeg praha i 5 masenih % frakcije sitnog praha.



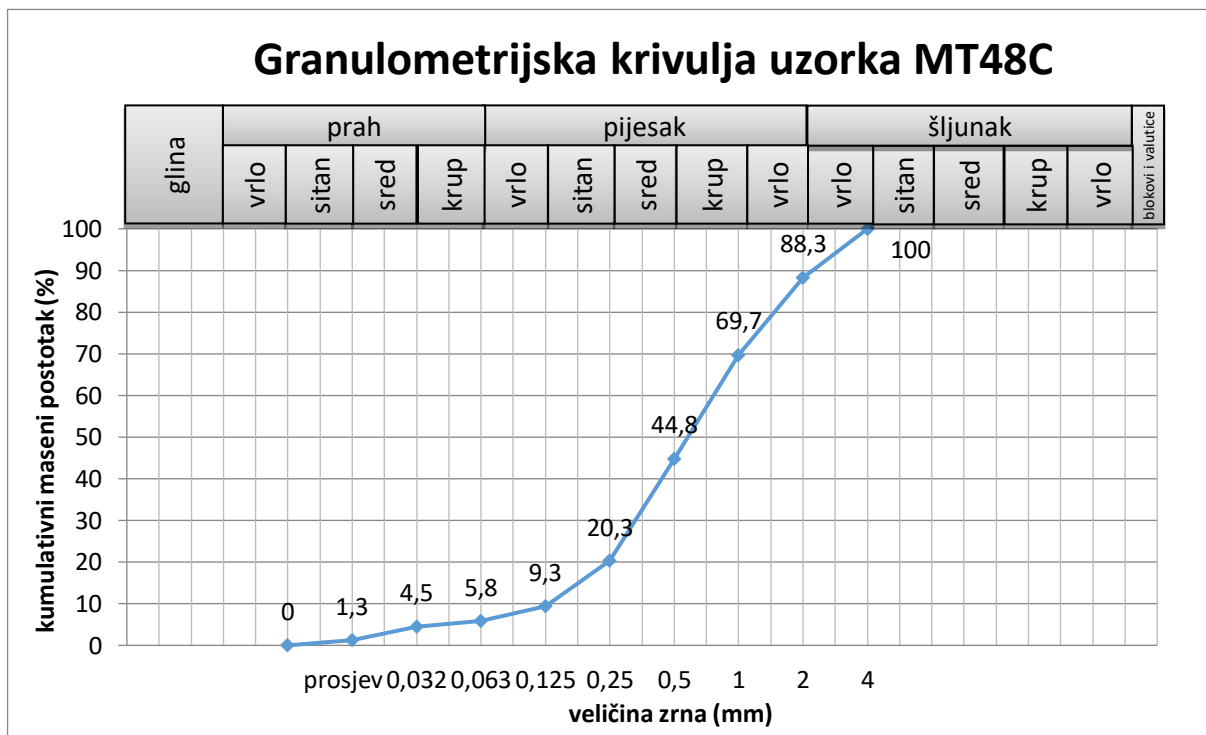
Slika 2–4.: Granulometrijska krivulja uzorka **MT34B**.

Granulometrijska krivulja vodotočnog sedimenta MT35 (Slika 2–5) sastoji se od 5 masenih % frakcije vrlo sitnog šljunka, 20 masenih % frakcije vrlo krupnog pijeska, 23 masenih % frakcije krupnog pijeska, 17 masenih % frakcije srednjeg pijeska, 15 masenih % frakcije sitnog pijeska, 8 masenih % frakcije krupnog praha, 1 masenih % frakcije srednjeg praha i 2 masenih % frakcije sitnog praha



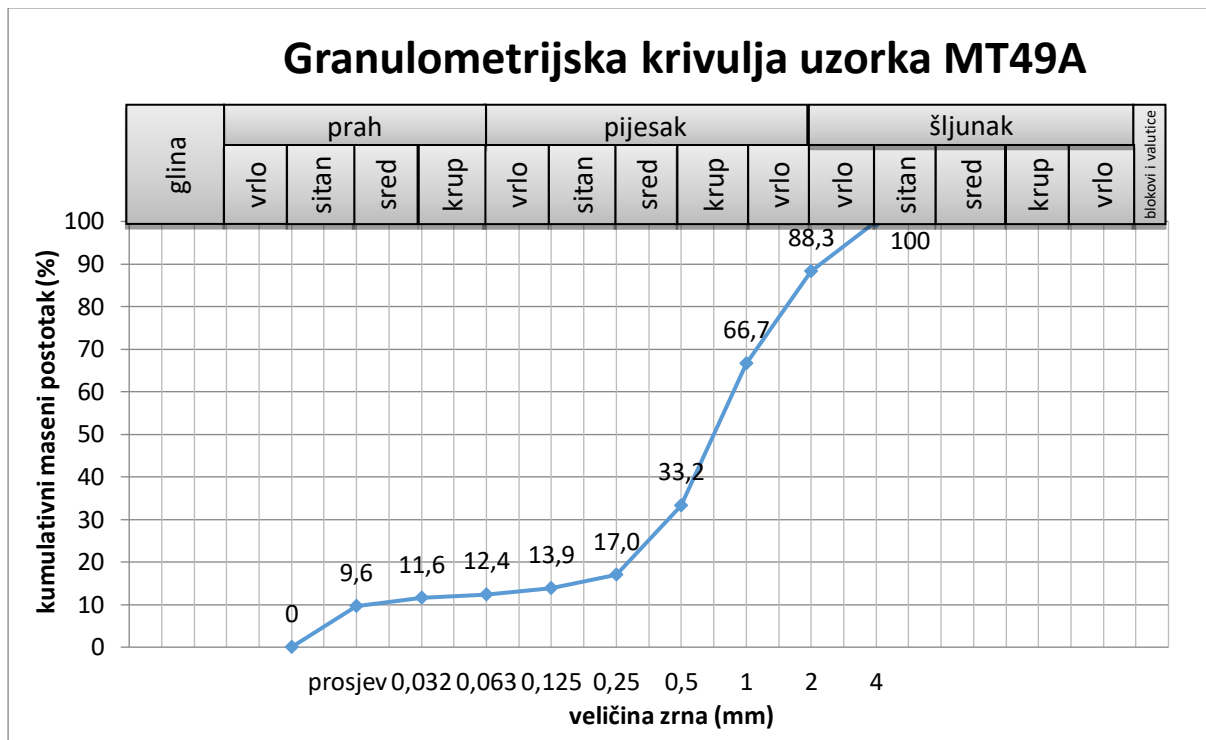
Slika 2–5. Granulometrijska krivulja uzorka **MT35**.

Granulometrijska krivulja vodotočnog sedimenta MT48C (Slika 2–6) sastoji se od 11 masenih % frakcije vrlo sitnog šljunka, 18 masenih % frakcije vrlo krupnog pijeska, 25 masenih % frakcije krupnog pijeska, 24 masenih % frakcije srednjeg pijeska, 11 masenih % frakcije sitnog pijeska, 3 masenih % frakcije krupnog praha, 1 maseni % frakcije srednjeg praha i 3 masenih % frakcije sitnog praha.



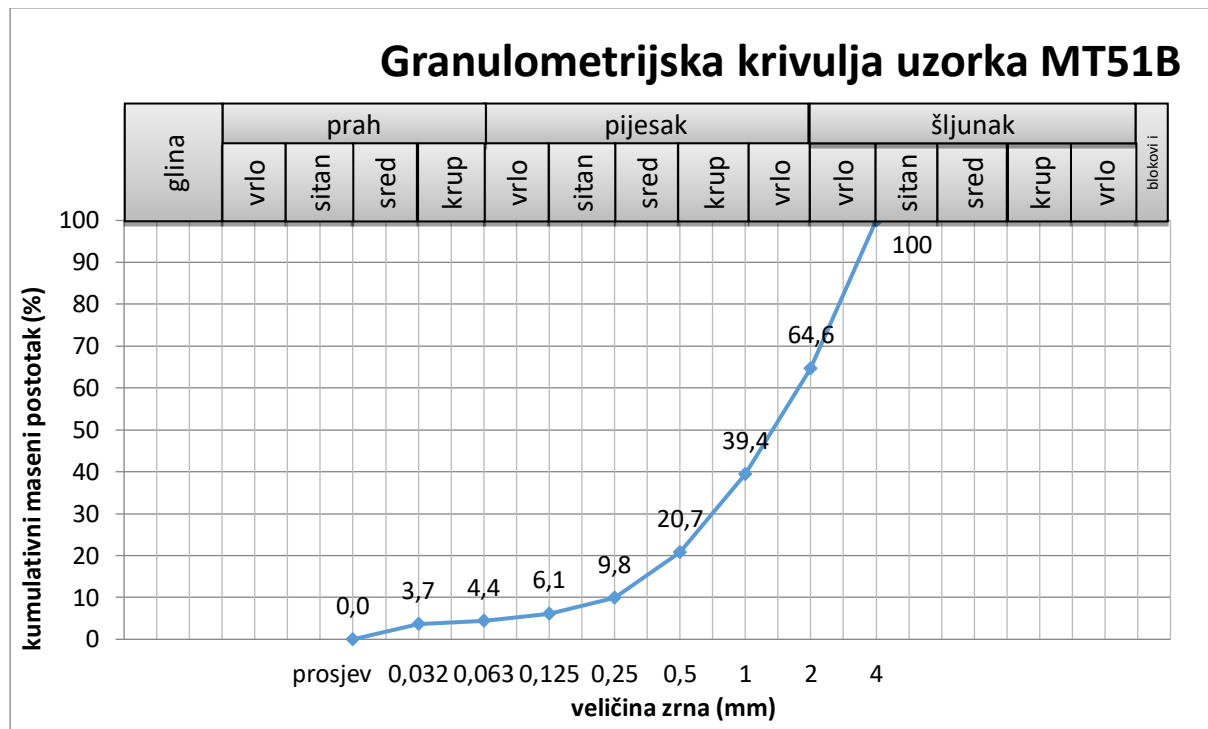
Slika 2–6. Granulometrijska krivulja uzorka **MT48C**.

Granulometrijska krivulja vodotočnog sedimenta MT49A (Slika 2–7) sastoji se od 11 masenih % frakcije vrlo sitnog šljunka, 21 masenih % frakcije vrlo krupnog pijeska, 33 masenih % frakcije krupnog pijeska, 16 masenih % frakcije srednjeg pijeska, 3 masenih % frakcije sitnog pijeska, 1 maseni % frakcije krupnog praha, 0,8 masenih % frakcije srednjeg praha i 2 masenih % frakcije sitnog praha.



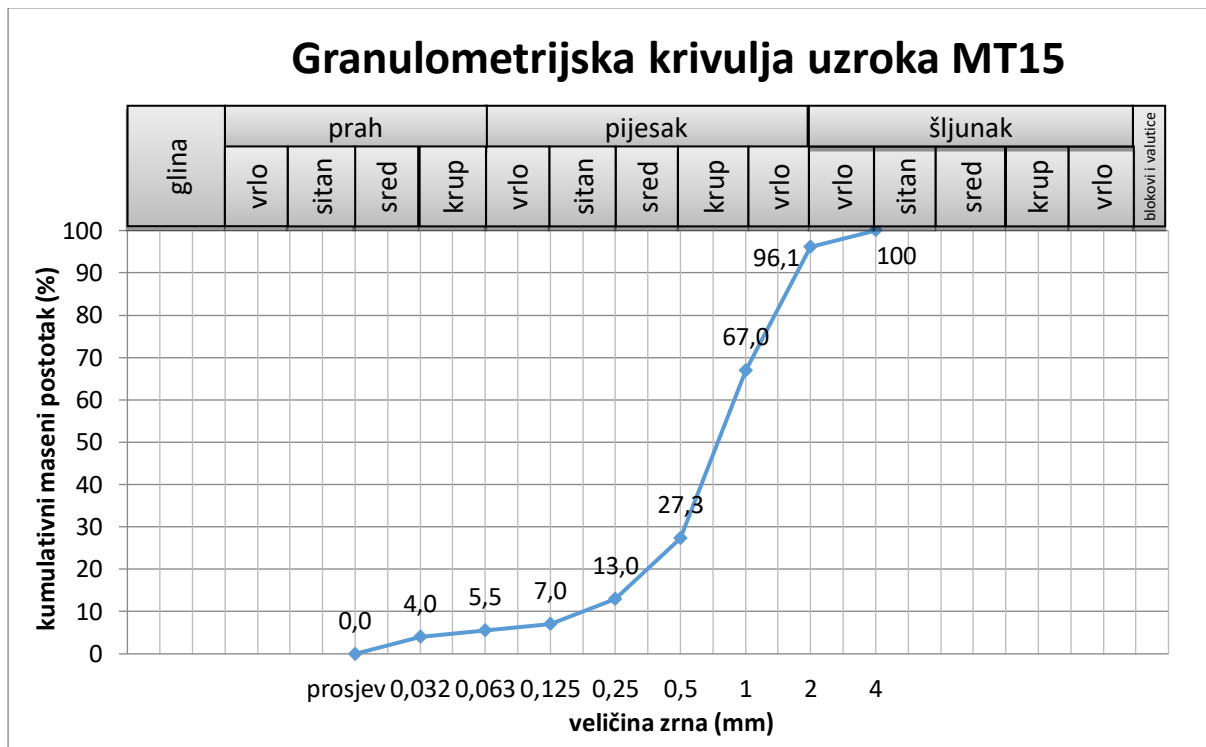
Slika 2–7. Granulometrijska krivulja uzorka **MT49A**.

Granulometrijska krivulja vodotočnog sedimenta MT51B (Slika 2–8) sastoji se od 35 masenih % frakcije vrlo sitnog šljunka, 25 masenih % frakcije vrlo krupnog pijeska, 18 masenih % frakcije krupnog pijeska, 10 masenih % frakcije srednjeg pijeska, 3 masenih % frakcije sitnog pijeska, 1 maseni % frakcije krupnog praha i 0,7 masenih % frakcije srednjeg praha.



Slika 2–8. Granulometrijska krivulja uzorka **MT51B**.

Granulometrijska krivulja vodotočnog sedimenta MT15 (Slika 2–9) sastoji se od 4 masenih % frakcije vrlo sitnog šljunka, 29 masenih % frakcije vrlo krupnog pijeska, 39 masenih % frakcije krupnog pijeska, 14 masenih % frakcije srednjeg pijeska, 6 masenih % frakcije sitnog pijeska, 1 maseni % frakcije krupnog praha i 1 maseni % frakcije srednjeg praha.



Slika 2–9. Granulometrijska krivulja uzorka **MT15**.

2.2.2. Magnetna separacija

Nakon sušenja, frakcija uzorka 1,25–0,063mm (Tablica 2–2) separirana je magnetnom separacijom. Princip metode temelji se na magnetnom susceptibilitetu minerala, odnosno svojstvu minerala da izloženi magnetnom polju postaju magnetizirani. Susceptibilitet je veličina definirana magnetskim momentom određenih iona i koncentracijom iona, posebice dvovalentnim i trovalentnim ionima željeza i mangana.

Dijamagnetični kristali imaju u svim orbitalama atoma/ionu sparene elektrone pa u njima vanjsko magnetsko polje inducira u kristalu polje suprotnog smjera od smjera polja. Kristal se nastoji ukloniti iz vanjskog magnetskog polja. Paramagnetični kristali sadrže atome/ione koji imaju i nesparene elektrone ali su im magnetski momenti nasumično orijentirani. Pri djelovanju vanjskog polja u kristalu se uspostavlja slaba magnetizacija u smjeru vanjskog polja. Feromagnetični kristali u vanjskom polju orijentiraju se dominantno u smjer vanjskog magnetskog polja (Slovenec, 2011).

U ovom radu koristio se „Frantzov izodinamski magnetski separator“. On se sastoji od elektromagneta između čijih se polova nalazi dugačak prostor kroz koji prolaze zrna. Uzorak se usipa u lijevak koji se potresa tresalicom kako bi se ostvario stalni pad čestica. Već se tu odvija prva separacija minerala, pri slobodnom padu zrna se nalaze u polju magneta te se ona s jačim specifičnim magnetskim susceptibilitetom jače magnetiziraju, a ona s manjim slabije. Žljeb kojim prolaze čestice dug je oko 30cm, u njemu se odvija druga magnetna separacija kojom zrna dospiju u dva odijeljena spremnika. Jedan je crne boje, unutra se nalazi dijamagnetična frakcija zrna. Drugi je sive boje i u njemu se nalazi magnetska frakcija. Elektromagnet i žljeb mogu se oko vertikalne osi nagibati i postavljati u točno određeni nagib. Biranjem poprečnog nagiba žleba i brzinom vibracija regulira se brzina kretanja mineralnih zrna duž kanala. Promjenom uzdužnog nagiba kanala i promjenom intenziteta magnetskog polja u ovisnosti o promjeni jakosti struje regulira se privlačenje magnetskih minerala prema odabranoj magnetskoj susceptibilnosti. Minerala zrna s nižom susceptibilnošću pri prolasku kroz magnetsko polje nastavljaju putovati nepromjenjenom putanjom, tj. donjim kanalom, a ona s višom susceptibilnošću bivaju privučena prema magnetu i skreću svoj tok kretanja u gornji kanal.

Nakon separacije, mineralna zrna dopijevaju u dvije posudice u koje se nasipaju magnetski, odnosno nemagnetski minerali. Odabirom uzdužnog kuta nagiba kanala i promjenom jačine magnetskoga polja može se već za male razlike vrijednosti susceptibilnosti minerala odviti njihova magnetska separacija.

Iz tablice 2–3 s vrijednostima kuta uzdužnog i poprečnog nagiba kanala, intenziteta magnetskog polja u ovisnosti o promjeni jakosti struje, te vrijednosti magnetske susceptibilnosti pojedinog minerala, minerali se mogu se odijeliti u manje magnetsku i više magnetsku frakciju. Na svakom izodinamskom separatoru mogu se odabrati jačina struje, uzdužni–prednji nagib, postrani nagib i jačina trešnje.

U ovom istraživanju korišten je postrani nagib od 5° te struje od 0,4 A, 0,8 A te 1,2 A. Separacija je napravljena na svim uzorcima. Korištene su frakcije od 0,063 mm i 0,125 mm koje su zatim puštane kroz separator pri strujama jakosti 0,4–1,2 A.

Tablica 2–3. Standardni uvjeti pri magnetnoj separaciji.

Magnet- ska fr.	postrani nagib 20 °			postrani nagib 5 °	
	Magnet- ska fr.	Magnet- ska fr.	Magnet- ska fr.	Magnet- ska fr.	Nemagnet- ska fr.
0,4 A	0,8 A	1,2 A	1,2 A	1,2 A	1,2 A
ilmenit	hornblenda	diopsid	titanit	cirkon	
granat	hipersen	tremolit	leukoxen	rutil	
olivin	augit	enstatit	apatit	anatas	
kromit	aktinolit	spinel	andaluzit	brukit	
kloritoid	staurolit	staurolit	monazit	pirit	
	epidot	(hell)	xenotim	korund	
	biotit	miskovit		topas	
	klorit	coisit		fluorit	
	turmalin	klinocoi			
	(dunkel)	sit		disten	
		turmalin		silimatin	
		(hell)		anhidrit	
				beril	

2.2.3. Analiza mineralnog sastava primjenom rendgenske difrakcije na prahu (XRD)

Za potrebe određivanja mineralnog sastava tla korištena je metoda rendgenske difrakcije na prahu (XRD; engl. X-Ray Diffraction Method), koja daje točne i precizne podatke, a uz to je nedestruktivna, brza i jeftina metoda. Predstavlja najznačajniju fizikalnu metodu određivanja mineralne vrste i kristalne strukture krute tvari, a temelji se na upotrebi rendgenskih zraka i njihovoj difrakciji.

Rendgenske zrake su elektromagnetski valovi reda veličine 10^{-10} m ($0,1 \text{ nm} = 1 \text{ \AA}$). Za dobivanje rendgenskih zraka koriste se rendgenske cijevi. Elektroni koji izlaze iz užarene katode ubrzani su velikom razlikom potencijala i velikom brzinom udaraju u anodu. Elektroni se najčešće uzastopno sudaraju s nekoliko atoma pri čemu dolazi do stupnjevitog gubitka energija. Na taj način nastaje „bijelo zračenje“, odnosno kontinuirani spektar oštre granice u kratkovalnom području. U slučaju kad upadni elektron ima dovoljnu veliku energiju da izbije jedan od unutarnjih elektrona u atomu anode u viši energijski nivo ili potpuno iz atoma, nastaje linijski spektar koji je karakterističan za materijal anode. Rendgenske zrake prolaze kroz gotovo sve tvari. Pri prolazu njihov intenzitet slabi, oslabljenje intenziteta je uzrokovano apsorpcijom i raspršenjem (difrakcijom) zračenja na atomima tvari.

Kod većine metoda rendgenske difrakcije koristi se monokromatsko $K\alpha$ zračenje (valna duljina $\lambda_{K\alpha} = 1,5418 \text{ \AA}$). Za dobivanje monokromatiziranog zračenja koriste se određeni filtri, što ovisi o materijalu anode. Uglavnom se koristi Cu–anoda ($\text{Cu}K\alpha$ zračenje), a za to zračenje najbolji je Ni–filar, tj. tanka folija metala nikla na prozoru rendgenske cijevi. Filar značajno apsorbira bijelo zračenje i gotovo u potpunosti $K\beta$ zračenje. Tako dobiveno monokromatizirano $\text{Cu}K\alpha$ zračenje se koristi u rendgenskoj difrakcijskoj analizi.

Osnovna periodičnost kristalne rešetke je reda veličine valne duljine rendgenskih zraka. To omogućuje pojavu difrakcije: u nizu prostornih smjerova određenih periodičnošću i simetrijom kristala pojavljuju se difrakcijski maksimumi dovoljnog intenziteta da se mogu detektirati. Difrakcijska slika je raspored difrakcijskih maksimuma po smjerovima u prostoru, registriran na filmu ili pomoću brojača. U trodimenzionalnom kristalu (kristalna rešetka) doći će do pojave difrakcije samo kod određenih valnih duljina ili uz monokromatsko zračenje kod određenih orijentacija kristala (rešetke) prema upadnom snopu (Slovenec, 2011).

Pojava difrakcije rendgenskih zraka u trodimenzionalnoj rešetki kristala može se objasniti refleksijom zraka na skupovima mrežnih ravnina. Ako na skup mrežnih ravnina s međumrežnim razmakom d pada snop paralelnih monokromatskih rendgenskih zraka pod kutom θ , tada će zrake zbog svoje prodornosti prolaziti kroz kristal, ali će se jedan dio zraka reflektirati na mrežnim ravninama i to pod istim kutom, θ (Slovenec, 2011).

Razlika u hodu, Δ između zrake koja se reflektira na prvoj i zrake koja se reflektira na drugoj, susjednoj mrežnoj ravnini jednaka je:

$$\Delta = AB + BC = 2AB$$

$$AB = d \sin \theta$$

$$\Delta = 2AB = 2d \sin \theta.$$

Ako je ta razlika λ ili cjelobrojni višekratnik λ , zrake reflektirane na mrežnim ravninama interferencijom će se pojačati. Prema Bragg–ovom zakonu, do refleksa na nekom skupu mrežnih ravnina (hkl) s međumrežnim razmakom d_{hkl} dolazi samo uz onaj kut θ_{hkl} za koji je razlika u hodu između zraka reflektiranih s dviju susjednih ravnina jednaka cijelom broju valnih duljina:

$$2d_{hkl} \sin \theta_{hkl} = n\lambda.$$

Osušeni uzorci, usitnjeni u prah u ahatnom mlinu i homogenizirani, izloženi su monokromatskom zračenju, a kao rezultat su dobivene difrakcijske slike na kojima su vidljivi pikovi pomoću kojih se interpretacijom može odrediti mineraloški sastav uzoraka. Difrakcijska slika se koristi se za određivanje sastava ili za razlikovanje dioktaedrijskih od trioktaedrijskih minerala. Za dobro kristalizirane uzorke, u kojima postoji prostorna uređenost rešetke, difrakcijske linije su oštre i gotovo simetrične (Sedak, 2015). Svaka kristalna tvar ima karakterističnu difrakcijsku sliku praha. Kod identifikacije, difrakcijska slika uzorka se uspoređuje s difrakcijskim slikama pojedinačnih standardnih uzoraka kristalnih tvari u programu Powder Diffraction File (PDF) (Slovenec, 2011).

Difrakcijske slike uzoraka podvrgnutih rendgenskoj analizi na Rudarsko–geološko–naftnom fakultetu snimljene su pomoću Philipsovog difraktometra 1710 s Bragg Brentano geometrijom te $\text{CuK}\alpha$ zračenjem ($U=40$ kV, $I=30$ mA). Dio uzoraka analiziran je na Geološkom zavodu Prirodoslovno–matematičkog fakulteta Philips PW3040/60 X'Pert PRO difraktometrom. Takvom difraktometru potrebna je manja količina uzorka za analizu.

3. Rezultati

3.1. Određivanje granulometrije čestica zrna

Na temelju granulometrijske analize šest uzoraka potočnih sedimenata utvrđen je pojedinačni granulometrijski sastav svakog uzorka (Tablica 3–1).

Maseni udjeli pojedinih frakcija potočnog sedimenta u tablici izraženi su u gramima.

Tablica 3–1. Prikaz rezultata granulometrije čestica zrna.

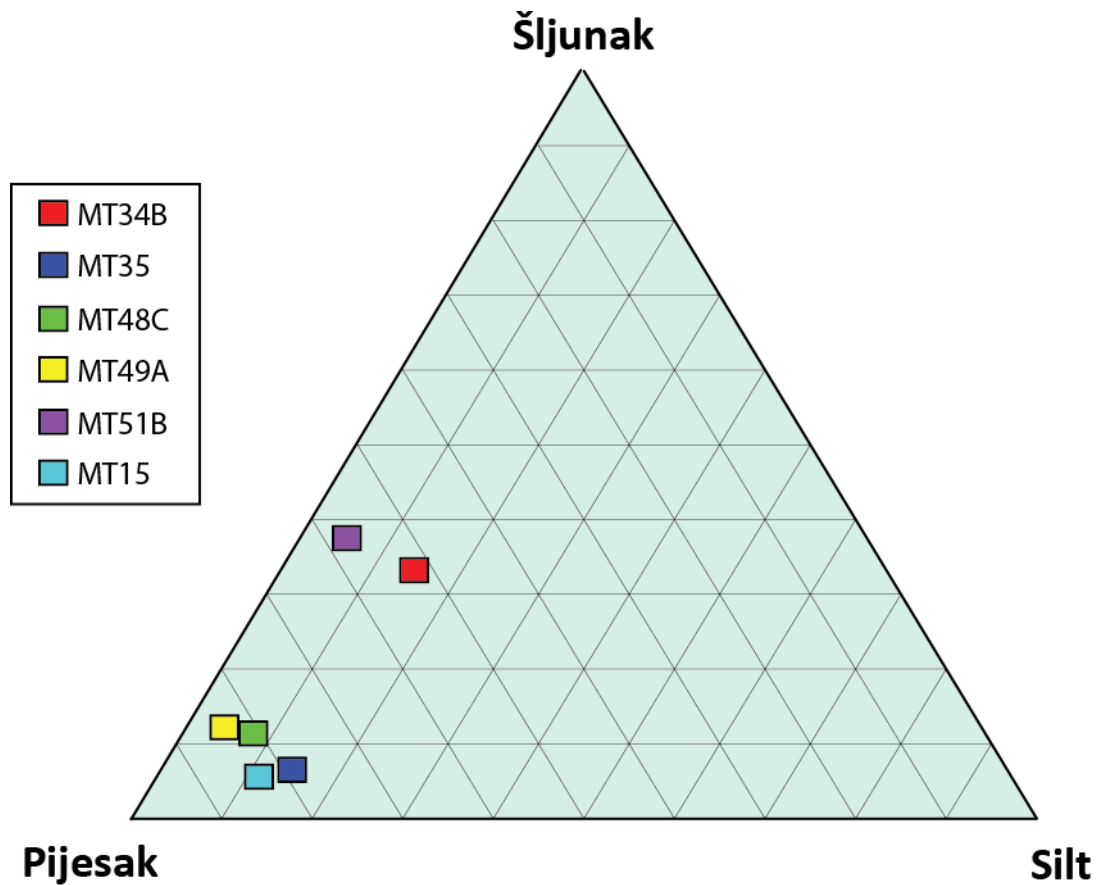
uzorak	odvaga (g)	> 2 mm	2–1 mm	1–0,5 mm	0,5– 0,25 mm	0,25– 0,125 mm	0,125– 0,063 mm	>0,063 mm
MT34B	100,7	25, 2	19,2	20,7	13,8	6,2	4,8	8,2
MT35	100,1	5,7	20,7	23,3	17,6	15,1	8,4	4,2
MT48C	100,0	11, 7	18,5	24,9	24,5	10,9	3,5	4,5
MT49A	100,1	11, 7	21,6	33,5	16,2	3,0614	1,5	2,7
MT51B	100,4	35, 5	26,2	18,8	10,8	3,7	1,7	0,7
MT15	50,0	1,9	14,5	19,8	7,1	2,9	0,7	0,7

U tablici 3–2 nalazi se pregled uzoraka po udjelu šljunka, pijeska i silta. Na temelju tih podataka napravljen trokomponentni dijagram uzoraka vodotočnih sedimenata (Tablica 3–3).

Tablica 3–2. Prikaz rezultata granulometrije čestica zrna.

Terenska oznaka uzorka	Šljunčana frakcija	Pjeskovita frakcija	Siltna frakcija
MT34B	25	39	11
MT35	5	60	11
MT48C	11	78	7
MT49A	11	73	3,8
MT51B	35	53	4,7
MT15	4	59	8

Tablica 3–3. Trokomponentni dijagram šljunčane, pjeskovite i siltna frakcije.

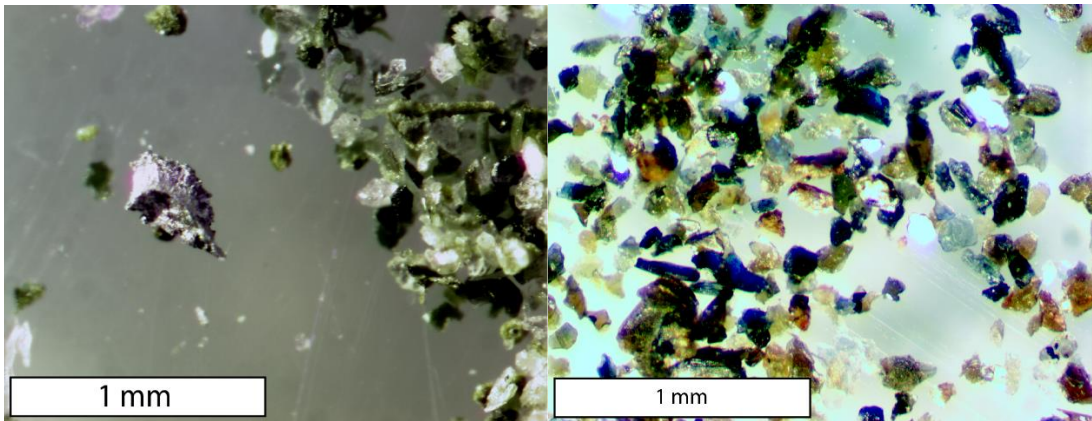


3.2. Separacija mineralnih frakcija

Magnetnom separacijom odvojene su frakcije sedimenta od 0,125mm do 0,063mm šest uzoraka. Frakcije su analizirane stereoskopskom lupom.

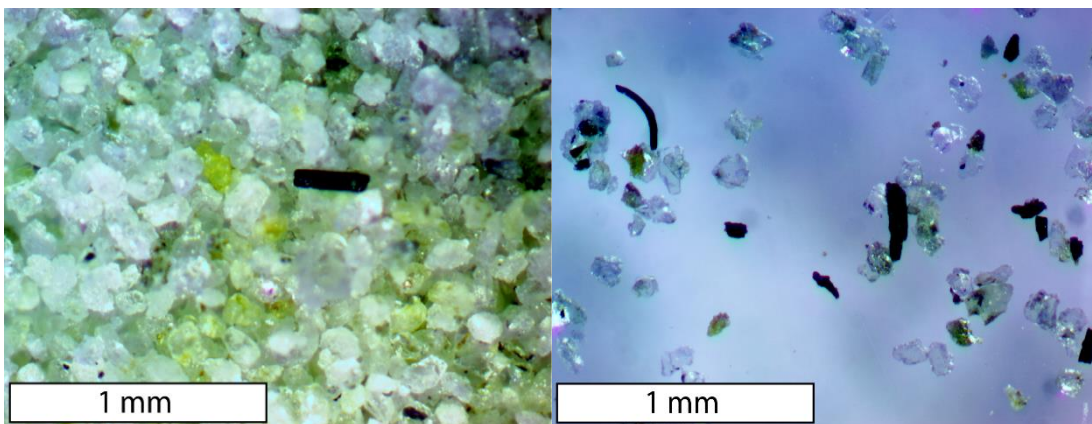
U uzorku MT34B stereoskopskom lupom determinirali smo hematit (Slika 3–1), što nam potvrđuje i metoda rendgenske difrakcije na prahu (Tablica 3–4).

Uzorak MT49A sastoji se od amfibola crne i zelene boje, providnog kvarca, listića muskovita, turmalina i opakih minerala (Slike 3–2, 3–3 i 3–4). Razlika između frakcija vidljiva je već u odnosu leukokratnih i melanokratnih zrna. U nemagnetnoj frakciji prevladavaju leukokratna zrna dok u magnetnim frakcijama udio melanokratnih zrna i minerala raste.

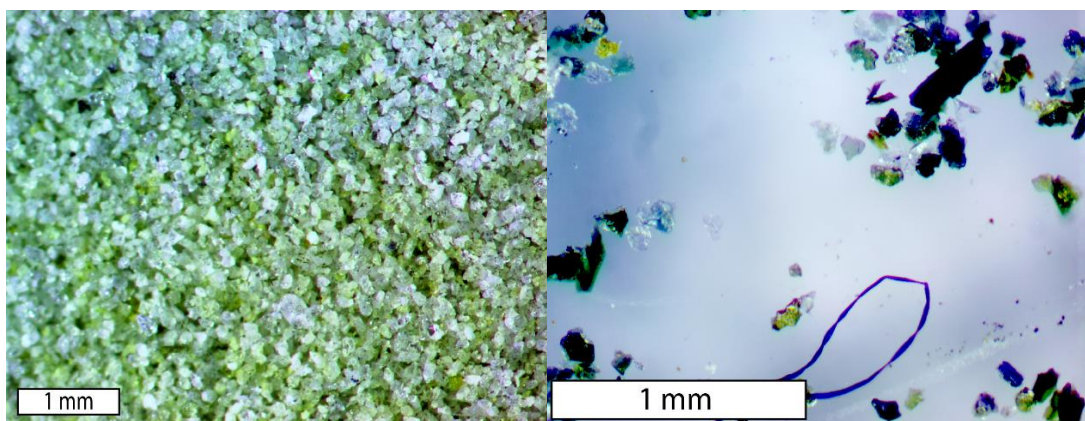


Slika 3-1. Na slici lijevo prikazana je magnetna frakcija uzorka **MT34B** pri jakosti struje od 0,4 A.

Slika 3-2. Na slici desno je magnetna frakcija uzorka **MT49A** separirana pri jačini struje od 0,4 A.

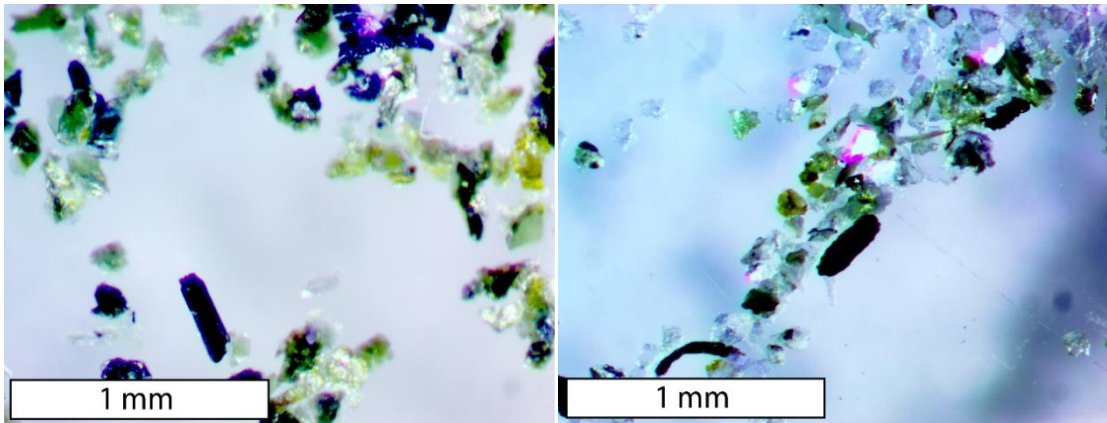


Slike 3-3 i 3-4. Na slici 3-3 jest nemagnetna frakcija uzorka **MT49A**, a na slici 3-4 magnetna frakcija separirana pri jakosti struje od 1,2 A.



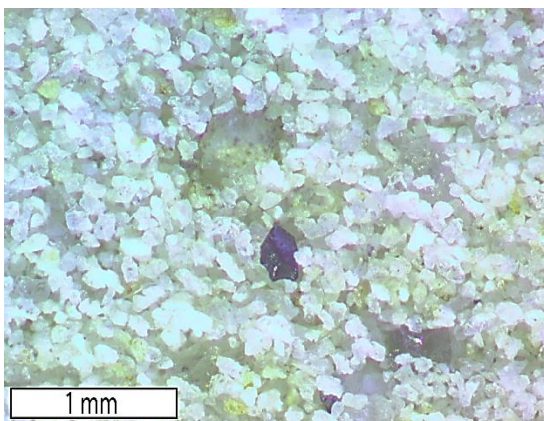
Slike 3-5 i 3-6. Prikaz nemagnetne frakcije uzorka **MT51B** na slici lijevo i magnetne frakcije separirane pri jačini struje od 0,4 A na slici desno.

Uzorak **MT51B** sastoji se dominantno od kvarca, feldspata i amfibola (Slika 3-5). U uzorku su vidljivi i magnetni minerali različitih formi (Slike 3-6, 3-7 i 3-8).

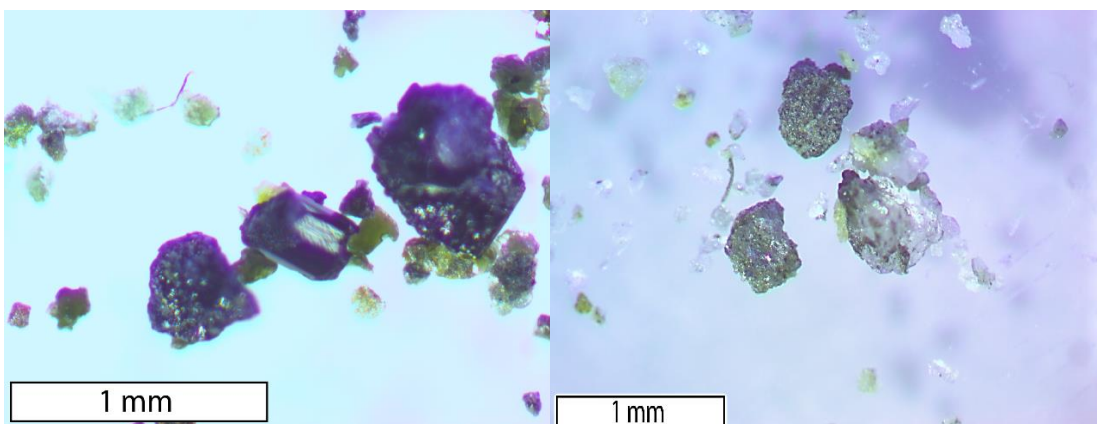


Slike 3–7 i 3–8. Na slici lijevo je separirana frakcija uzorka **MT51B** pri struji od 0,4 A, a na slici desno pri struji od 1,2 A.

Uzorak MT15 sastoji se od hematita i drugih rudnih minerala koje nije bilo moguće sa sigurnošću odrediti. Uz njih u uzorku se nalazi bijeli feldspat, providni kvarc i filosilikati (Slike 3–9, 3–10 i 3–11).



Slika 3–9. Nemagnetna frakcija uzorka **MT15**.

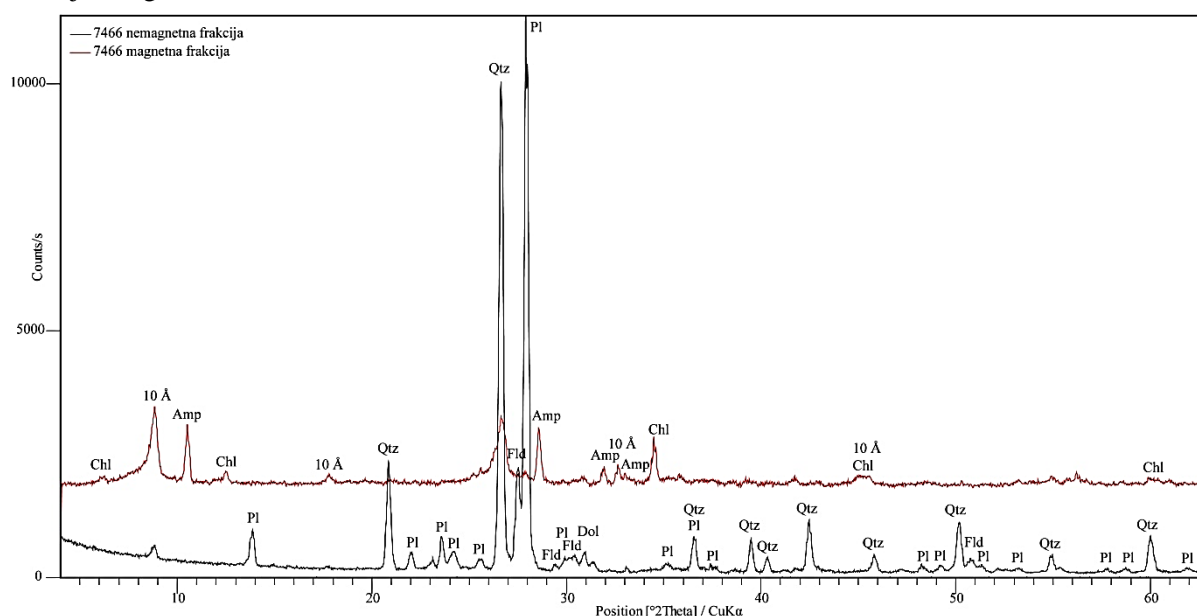


Slike 3–10 i 3–11. Magnetna frakcija na slici lijevo separirana je pri struji od 0,4 A, a na slici desno pri struji od 1,2 A. Slike prikazuju različite magnetne minerale u uzorku **MT15**.

3.3. Rezultati analiza mineralnog sastava primjenom rendgenske difrakcije na prahu (XRD)

Rezultat metode rendgenske difrakcije na prahu je kvalitativni i semikvantitativni prikaz mineralnih faza u uzorcima. Snimljene su difrakcijske slike originalnih (Tablica 3–4) i magnetski separiranih (Tablica 3–5) uzoraka.

Rendgenska difrakcija na magnetski separiranim uzorcima potrebna je kako bi lakše determinirali magnetične minerale odnosno minerale indikatore potencijalnog orudnjenja. Primjer difrakcijske snimke magnetične i nemagnetične frakcije (Slika 3–12) s označenim pikovima koji predstavljaju rendgenski zapis pojedinih minerala, najjasnije ilustrira razlike u mineraloškom sastavu različitih frakcija istog uzorka–MT51B.



Slika 3–12. Prikaz magnetne (crvena linija) i nemagnetne (crna linija) frakcije uzorka **MT51B**.

Tablica 3–4. Mineralni sastav originalnih uzoraka vodotočnog sedimenta Motajice dobiven metodom rendgenske difrakcije na prahu.

Lab. broj	Qtz	Pl	Fld.	10 Å	Pyx	Amp
MT34B	+++	+++	+	+	–	–
MT35	+++	+++	+	+	–	–
MT48C	++	+++	++	+	?	–
MT49A	+++	++	+ / +++	+	?	+
MT51B	+++	+++	+	+	–	+
MT15	+++	+++	+	+	–	–

Tablica 3–5. Mineralni sastav magnetski separiranih uzoraka vodotočnog sedimenta Motajice dobiven metodom rendgenske difrakcije na prahu.

Lab. broj	Jačina struje	Qtz	Pl	Fld.	10 Å	Chl	Amp	Hem
MT34B	0,4 A	+	++	?	+++	–	–	++
MT34B	0,8 A	+	++	?	+++	+++	–	–
MT34B	1,2 A	+	++	+++	+++	?	–	–
MT35	0,4 A	+	++	+	++	?	?	++
MT48C	0,4 A	+	+	+	++	–	–	+++
MT49A	0,4 A	+	?	?	++	++	+++	–
MT51B	0,4 A	–	–	–	++	++	+++	–
MT15	0,4 A	+	++	?	+	?	?	++

4. Diskusija

4.1. Mineraloški sastav analiziranih vodotočnih sedimenata

4.1.1. Vodotočni sedimenti koji dreniraju granite

Uzorci MT34B, MT35, MT48C i MT15 su uzeti iz potoka na području granitne intruzije. Iz tablice 3–4 može se zaključiti sljedeće: glavne mineralne faze ovih uzoraka su kvarc i plagioklas; feldspati se pojavljuju kao sporedna mineralna faza u uzorku MT48C, dok su u ostalima prisutni kao mineralna faza u tragovima uz minerale iz skupine tinjaca; piroksen je moguće prisutni u samo jednom uzorku (MT48C), a amfibol se ne pojavljuje niti kao mineralna faza u tragovima.

Magnetnom separacijom dokazano je sljedeće: ovi vodotočni sedimenti dominantno se sastoje od plagioklasa i minerala iz skupine tinjaca, dok su feldspati glavna mineralna faza jednog uzorka (MT34B) frakcije izdvojene najjačom strujom. Sporednu fazu u svim uzorcima čine kvarc i minerali iz skupine tinjaca, a hematit se pojavljuje u svim uzorcima kao glavna ili sporedna faza, što ukazuje na pojavu hidrotermalne alteracije uzvodno od lokacije uzorkovanja u granitima. Klorit se javlja kao glavna mineralna faza u uzorku MT34B u frakciji 0,125–0,063 mm separiranoj pri struji 0,8 A.

S obzirom na lokacije uzorkovanja ovih vodotočnih sedimenata, vidljivo je da se drenira teren samo granitnog sastava, no to još potkrepljujemo činjenicom kako se u niti jednom opisanom uzorku ne javljaju amfiboli koji su glavni minerali u metamorfiziranim kontaktom–metamorfozom kredno–paleogenskih fliševa.

4.1.2. Vodotočni sedimenti koji dreniraju granite i okolne metamorfite

Uzorci MT49A i MT51B su vodotočni sedimenti uzeti iz potoka na izoliranom području gdje nalazimo granite u okruženju amfibolita i gnajseva (Sl 1–4). Iz tablice 3–4 zaključujemo: glavne mineralne faze ova dva uzorka su kvarc i plagioklasi, feldspati se u uzorku MT49A pojavljuju kao sporedna mineralna faza, a u uzorku MT51B kao mineralna faza u tragovima, dok su minerali iz skupine tinjaca i amfiboli prisutni kao mineralna faza u tragovima u oba uzorka; pirokseni su moguće prisutni u uzorku MT49A, dok u uzorku MT51B izostaju u potpunosti. U uzorku MT51B stereoskopskom lupom prepoznat je mineral turmalin koji se karakteristično pojavljuje u sastavu grazeniziranog granita.

Magnetnom separacijom dokazano je sljedeće: amfiboli čine glavnu mineralnu fazu ovih vodotočnih sedimenata. Sporedni su minerali iz skupine tinjaca i klorit, što ukazuje na procese alteracije (kloritizacija, muskovitizacija, sericitizacija). Kvarc je prisutan u uzorku MT49A, dok u uzorku MT51B izostaje. Hematit izostaje u potpunosti u oba uzorka.

Kako je već spomenuto, ovi vodotočni sedimenti su uzorkovani na granitnom terenu, no on je izoliran između naslaga amfibolita te tinjčastih škriljavaca i paragnajseva, odnosno, uzorci su uzeti u neposrednoj blizini metamorfita zone kontaktnog pojasa. Istraživani vodotočni sedimenti reflektiraju opisani litološki sastav dreniranog terena (1.2.2.2 Kontaktno–metamorfne stijene).

4.1.3. Granulometrijske analiza

Analizirani uzorci vodotočnih sedimenata pokazuju dominaciju pjeskovite frakcije (39–78 masenih %) (Tablica 3–2). Uzorci vodotočnih sedimenata koji dreniraju granite pokazuju veći udio silta (11–7 masenih %) od onih koji dreniraju granite i metamofite (3,8–8%).

4.1.4. Mineraloška analiza

Metoda magnetne separacije obavljena je na svim uzorcima pri struji od 0,4 A, dok je uzorak MT34B dodatno magnetno separiran pri strujama od 0,8 A i 1,2 A (Tablica 3–5).

Opisani vodotočni sedimenti koji dreniraju granite i njihov mineralni sastav (4.1.1.) se bitno razlikuje od mineralnog sastava vodotočnih sedimenata koji dreniraju granite i metamorfite (4.1.2.).

4.2. Utjecaj okolne litologije na sastav vodotočnih sedimenata

4.2.1. Mineraloški sastav okolnih stijena

Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima, granitoidi Motajice se sastoje od (1) 75% "normalnog" dvotinječastog granita, (2) 15% leukokratnog granita, (3) 5–7% aplitoidnog granita i (4) manje od 1% grajzeniziranog granita (Varićak, 1966):

- (1) U mineralnom sastavu "normalnog" dvotinječastog granita, najzastupljeniji minerali su kvarc, feldspati (ortoklas, mikroklin) i oba tinjca, odnosno i biotit i muskovit. Uz ove glavne minerale, sporedni koji se javljaju su granat, hornblenda, cirkon, apatit, magnetit, titanit, akcesorni turmalin, titanit, cirkon, granat, beril, rutil, pirit te sekundarni klorit, minerali glina, sericit i limonit.
- (2) Leukokratni granit čine kvarc, feldspati (ortoklas i mikroklin) i muskovit kao glavni sastojci; biotit, cirkon, apatit, magnetit i titanit kao sporedni sastojci; turmalin kao akcesorni sastojak; sericit, minerali glina, klorit i limonit kao sekundarni sastojci.
- (3) Glavni sastojci aplitoidnog granita su kvarc, feldspati (ortoklas i mikroklin) te oba tinjca (muskovit i biotit). Sporedne sastojke čine biotit, cirkon, apatit, magnetit, titanit, akcesorne turmalin i pirit te sekundarne sericit, minerali glina, klorit i limonit.
- (4) Mineralni sastav grajzeniziranog granita u najvećoj mjeri čine kvarc i muskovit/sericit. Od ostalih minerala, pojavljuju se i cirkon, apatit, titanit, limonit, te mikroklin i biotit isključivo kao relikti.

Što se okolnih formacija tiče, stijene se uglavnom sastoje od plagioklasa, feldspata, tinjaca, kvarca, kao i opisani graniti, no u njihovom sastavu pojavljuju se i drugi minerali kao što su hornblenda, kordijerit, pirokseni, glaukofan, coisit/klinocoisit. Pojava ovih minerala objašnjava se time da se nalazimo u zoni amfibolitnog facijesa kontaktnog i regionalnog metamorfizma (Varićak, 1966).

4.2.2. Usporedba litologije sa mineraloškim sastavom vodotočnih sedimentata

Razlike u litologiji vodotočnih sedimentata iz potoka koji dreniraju granite i iz potoka koji dreniraju i granite i metamorfite vidljive su iz tablice 3–4. Dok su dominantni sastojci i jedne i druge skupine vodotočnih sedimentata uglavnom kvarc i plagioklas, najveću razliku u mineralnom sastavu čini prisutnost amfibola u vodotočnim sedimentima uzetih iz potoka koji dreniraju i granite i metamorfite. Smatra se da su amfiboli odraz metamorfita amfibolitnog facijesa. Magnetnom separacijom uzoraka utvrđeno je prisustvo amfibola kao glavne mineralne faze istih metamorfita.

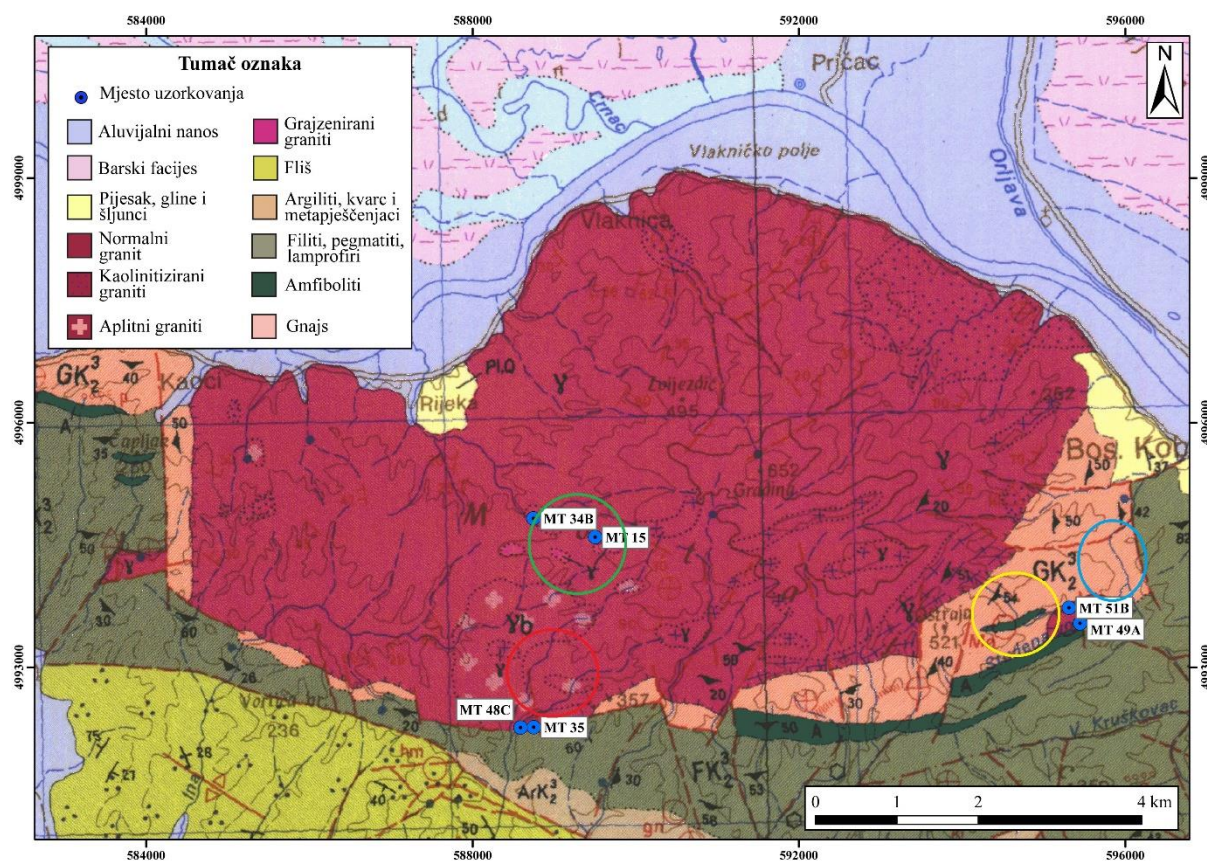
Dakle, uzorci MT34B, MT35, MT48C i MT15 su uzeti iz potoka koji dreniraju granite, tako da sastav istih uzoraka potječe od ispiranja granitne intruzije. Sastav ovih vodotočnih sedimentata ovisi o sastavu granita. Uglavnom je riječ o "normalnom" dvotinčastom granitu pa tako mineralni sastav ova 4 vodotočna sedimenta odgovara mineralnom sastavu "normalnog" dvotinčastog granita: kvarc, feldspati (ortoklas i mikroklin), tinjci (biotit i muskovit).

S druge strane, uzorci MT49A i MT51B su uzeti iz potoka koji dreniraju i granite i metamorfite pa njihov sastav ovisi o mineralnom sastavu "normalnog" tinjčastog granita i o mineralnom sastavu okolnih metamorfita: kvarc, plagioklas, feldspati (ortoklas i mikroklin), tinjci (biotit i muskovit) te u najvišoj mjeri amfiboli (hornblenda i glaukofan).

Čak manje od 1% granitoidnog plutona čine grajzenizirani graniti. Oni su sastavljeni pretežito od kvarca i muskovita uz promjenjive količine topaza, turmalina, fluorita ili drugih minerala bogatih fluorom ili borom (Burt, 1981). XRD analizom uzoraka utvrđena je prisutnost 10 angstemskih minerala, a to su obično filosilikati–sericit, klorit ili kaolinit, u svim vodotočnim sedimentima. U uzorku MT34B upravo je ta faza čak glavna mineralna faza, što ukazuje na intenzivnu alteraciju stijene. Osim grajzenizacije, česta alteracija je kaolinitizacija granita. Uzorci MT35, MT48C, MT49A i MT51B također sadrže značajni udio ovih minerala no u manjoj mjeri nego uzorak MT34B. Prema tome, ovi uzorci su također alterirani, ali nešto slabije, dok uzorak MT15 sadrži najmanje spomenutih minerala pa je zaključno s time najslabije podvrgnut procesima alteracije.

Prisutnost minerala hematita u sedimentu ukazuje na hidrotermalne alteracije stijene. Varićak i Đoković (1966) objavili su kemijski modalni sastav normalnih, leukokratnih i aplitoidnih uzoraka granita Motajice u kojima se pojavljuje i hematit. Uzorci MT34B, MT35 i MT15 pokazuju prisutnost hematita nakon magnetne separacije na struji jakosti 0,4 A, a uzorak MT48C sadrži hematit čak kao glavnu mineralnu fazu. Od ostalih hidrotermalnih pojava minerala Katzer (1926) spominje galenit, a Ramović (1957) tetraedrit, hematit, cerusit, covelin i getit u aluvijalnim nanosima kraj sela Japaga. Katzer (1926) je također opisao rude željeza u Jurinom Jarku gdje je sastav limonita sljedeći: 34,9% Fe, 30,4% SiO₂, 2,1% Mn i 0,5% P. Ipak, hidrotermalne pojave su slabo razvijene. Uslijed erozije Motajice erodiran je debeli sloj pokrova samog plutona koji je mogao sadržavati hidrotermalne naslage, dok su ostali samo dijelovi s visokotemperaturnim hidrotermalno izmijenjenim kvarcom (Jurković, 2004).

4.3. Praćenje orudnjenja pomoću analize vodotočnih sedimanata



Slika 4–1. Izvorišna područja ispiranja uzoraka vodotočnih sedimenata.

Na slici 4–1 crvenom kružnicom označeno je područje izvorišnog materijala ispiranja za uzorke MT48C i MT35. Temeljem prikupljenih rezultata istraživanja utvrdili smo da se u tim uzorcima nalaze značajne količine 10 angstemskih minerala i hematita, što ukazuje na alteracije izvorišnog materijala, odnosno na to da je izvorišna stijena uzvodno od uzetih uzoraka alterirana; hematitizirana, sericitizirana.

Na slici 4–1 zelenom kružnicom označeno je područje izvorišnog materijala ispiranja za uzorke MT34B i MT 15. Na temelju prikupljenih rezultata istraživanja utvrdili smo da se u tim uzorcima nalaze značajne količine 10 angstemskih minerala i hematita kao i kod prethodnih uzoraka, dakle izvorišna stijena uzvodno od uzetih uzoraka je također alterirana procesima hematitizacije i sericitizacije.

Na slici 4–1 plavom i žutom kružnicom označena su područja izvorišnog materijala ispiranja za uzorke MT49A i MT51B. Temeljem prikupljenih rezultata istraživanja utvrdili smo da se u tim uzorcima nalaze značajne količine 10 angstemskih minerala, klorita i amfibola, no hematit ovdje izostaje u potpunosti. To znači da je izvorišna stijena uzvodno od uzetih uzoraka hematitizirana i kloritizirana. Amfiboli su prisutni kao rezultat drenaže metamorfita.

5. Zaključak

U okviru ovog rada istraživana je drenažna mreža Motajice, planinskog masiva Bosne i Hercegovine magmatsko–metamorfno kompleksa, radi definiranja mineraloškog sastava vodotočnih sedimentata i lociranja eventualne grajzenske i/ili hidrotermalne mineralizacije. Pri tome je obavljena granulometrijska analiza na temelju koje je utvrđena dominacija pjeskovite frakcije u svim uzorcima (39–78 masenih %), dok vodotočni sedimenti uzeti iz potoka koji dreniraju granite pokazuju veći udio silta (7–11 masenih %) od onih koji dreniraju granite i metamorfite (3,8–8 masenih %). Na granulometrijskoj frakciji 0,125–0,063 izvršena je magnetna separacija svih uzoraka pri različitim jakostima struje (0,4; 0,8 i 1,2 A). Analizom rezultata magnetne separacije zaključeno je kako se vodotočni sedimenti uzeti iz potoka koji dreniraju granite i metamorfite razlikuju od onih koji dreniraju samo granite po prisutnosti značajnih količina amfibola (Slika 3–2), za koje se pretpostavlja da potječu iz metamorfita amfibolitnog facijesa. U uzorcima koji dreniraju granite prisutan je hematit kao glavna mineralna faza izdvojene magnetne frakcije pri jakosti struje 0,4 A, te minerale glina i klorite kao glavne mineralne faze izdvojene pri jakosti struje od 0,8 A. Prisutnost hematita ukazuje na naknadnu hidrotermalnu izmijenu granita (hematitizaciju), dok minerali glina i klorit ukazuju na sericitizaciju i kloritizaciju.

Usporedbom mineralnog sastava vodotočnih sedimenata i mineralnog sastava stijena koje okolni potoci dreniraju, zaključeno je da istraživani vodotočni sedimenti odražavaju geološku građu terena i mineralni sastav kasnijih grajzenskih i hidrotermalnih alteracija. Mineralni sastav vodotočnih sedimenata uzetih iz potoka koji dreniraju granite odgovara dominantno mineralnom sastavu dvotinčastog granita, a mineralni sastav vodotočnih sedimenata uzetih iz potoka koji dreniraju granite i metamorfite odgovara mineralnom sastavu dvotinčastog granita i okolnih metamorfita.

Uz glavni mineralni sastav istraživanih vodotočnih sedimenata, pronađeni su i jedinstveni minerali koji su karakteristični za grajzenizirane granite i hidrotermalne alteracije, koji je u ovom slučaju turmalin i hematiti (Slika 3–7; 3–1) prepoznati korištenjem stereoskopske lupe i XRD–om. Povećani udio frakcije veličine silta, te povećani udio minerala glina i klorita kod uzoraka koji dreniraju magmatite, također ukazuju na intenzivnije hidrotermalne promjene. Pojava turmalina u vodotočnim sedimentima koji dreniraju granite i metamorfite ukazuje na pojavu grajzenske mineralizacije uzvodno od lokacije uzorkovanja.

6. Popis literature

- BARIĆ, L.J., (1960): Beril iz Motajice Planine. Acta geol. JAZU, knjiga 29, Zagreb, str. 71–78.
- BURT, D.M., (1981): Acidity–salinity diagrams: Application to greisen and porphyry deposits. Econ Geol 76, str. 832–843.
- DELEON, A., (1963): Prikaz dosadašnjih iskustava pri određivanju apsolutnih geoloških starosti. Ref. II jug.–polj. sav. o geol. i met. ispit. nukl. sir., Beograd.
- DINARSKO GORJE: Motajica. <https://www.dinarskogorje.com/motajica.html> (16.3.2020.)
- ILIĆ, S., (1953): Motajički kaolin. Glas. hem. druš. NRBiH, 7, Sarajevo.
- JURKOVIĆ, I., (2004): Metallogeny of Eocene syncollisional granites of Motajica and Prosara Mountains, 16, str. 31–36.
- KARAMATA, S., (1976): Nemetalične sirovine genetski vezane na hercinski kiseli magmatizam. Prvi tom: Nemetalne sirovine, 241/242. Geoinženjering, Sarajevo.
- KATZER, F., (1903): Geologischer Führer durch Bosnien und die Hercegovina. Sarajevo, str. 5, 61–52.
- KATZER, F., (1921): Geološka pregledna karta Bosne i Hercegovine. 3. list, Banja Luka, Sarajevo.
- KATZER, F., (1926): Geologija Bosne i Hercegovine. Sarajevo, str. 65–92.
- KATZER, F., LIPOLD, V. & ŠRAJN, W., (1910): Geologische Übersichtskarte von Bosnien–Hercegovina. Sarajevo.
- KATZER, F. & TURINA, J., (1912): Geologische Formationsumriss–Spezialkarten von Bosnien und der Hercegovina: Svinjau und Orlovac, Sarajevo.
- KOCH, F., (1889): Berilj iz Motajice planine u Bosni. Glas. zem. muz. BIH, Sarajevo, str. 1–12.
- KOCH, F., (1908): Prilog petrografskom poznavanju Motajice Planine u Bosni. Glas. zem. muz. BIH, Sarajevo, str. 1–22.
- KRENN, E., USTASZEWSKI, K. & FINGER, F., (2008): Detrital and newly formed metamorphic monazite in amphibolite–facies metapelites from the Motajica Massif, Bosnia. Chem. Geol., str. 254, 164–174.
- MILJUŠ, P., (1961): Rezultati geološkog kartiranja Bosanske Posavine. Geol. glasnik, br. 5, Sarajevo, str. 78–80, 88–90.

- MOJSISOWICS E.V., TIETZE, E., BITTNER, A., NEUMAYR, M., JOHN, C.V., (1880): Grundlinien der Geologie von Bosnien–Hercegovina, str. 182, 192, 261, 269–272, 341, 351–252, 440.
- NIKOLIĆ, D., (1962): Berili Jugoslavije. Ref V sav. geol. SFRJ, dio 2, Beograd, str 11–12.
- PAMIĆ, J. & BALEN, D., (2001): Tertiary magmatism of the adjoining South Pannonian Basin. Acta vulcanologica, Pisa–Roma, str. 9–24.
- PAMIĆ, J. & JELASKA, V., (1975): Pojave vulkanogeno–sedimentnih tvorevina gornje krede i ofiolitnog melanža u sjevernoj Bosni i njihov značaj u geološkoj građi Unutrašnjih Dinarida. Drugi. god. znanstveni skup JAZU, 5, Zagreb, str. 109–117.
- PAMIĆ, J. & PROHIĆ, E., (1989): Novi prilog petrološkom poznavanju aplinskih granitnih i metamorfnih stijena Motajice u sjevernim Dinaridima u Bosni. Geološki glasnik, knjiga XIII, Izd. Zav. za geol. istr. SR Crne Gore, Titograd, str. 145–176.
- PAMIĆ, J. & LANPHERE, M.A., (1991): Alpine A–type granites from the collisional area of the northernmost Dinarides and Pannonian Basin. N. Jb. Mineral., Abh., str. 162, 215–236.
- PAUL, K.M., (1872): Geologische Notiz aus Bosnien, Verhandl., 16, str. 323.
- PILAR, DŽ., (1882): Geološka opažanja u Zapadnoj Bosni, Rad JAZU, Zagreb, str. 15.
- PIRAJNO, F., (1992): Hydrothermal Mineral Deposits: Greisen Systems. Springer–Verlag Berlin Heidelberg.
- SCHMID, S.M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, D., MATENCO, L., SCHUSTER, R., SCHEFER, S., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K., (2008): The Alpine–Carpathian–Dinaridis orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units, Swiss J. Geosci., 101, str. 139–183.
- SLOVENEK, D., (2011): Opća mineralogija. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 267–268.
- STANGAĆILOVIĆ, D., (1956): Motajički primarni kaolin. Glas. prirod. muz. srp. zem., knjiga 7, svezak 1, Beograd.
- TIŠLJAR, J., (2004): Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina. Zagreb: Institut za geološka istraživanja.
- USTASZEWSKI, K., KOUNOV, A., SCHMID S.M., SCHALTEGGER U., KRENN E., FRANK, W., FÜGENSCHUH B., (2010.): Evolution of the Adria–Europe plate boundary in the northern Dinarides: From continent–continent collision to back–arc extension. Tectonics, 29, str. 1–24.
- VARIČAK, D. (1966): Petrološka studija motajičkog granitskog masiva. Sarajevo: Geološki zavod.