

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geoloogia osakond

Bakalaureusetöö geoloogias (12 EAP)

Réunioni basaltide murenemine
Brite Gedi Pilvik

Juhendajad: Timmu Kreitsmann ja Peeter Somelar

Tartu 2026

Réunioni basaltide murenemine

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärkideks oli kirjeldada värskeste Réunioni basaltide petrograafiat ning keemilist ja mineraloogilist koostist. Teiseks uurida, kas ja/või kui palju on keemilise murenemise ilmingud neis jälgitavad. Selleks kasutati röntgenfluorestsents (XRF), röntgendifraktsiooni (XRD) ja skaneeriva elektronmikroskoobi (SEM) analüüsimeetodeid. Lisaks arvutati kaks murenemisindeksit: keemilise muundumise indeks (CIA) ja plagioklassi muundumise indeks (PIA). Analüüside tulemused näitasid kahte tüüpi proovide esinemist: oliviinirikad ja plagioklass-pürokseeni-rikad. Koostiselt olid proovid klassikalised ookeani saare toleiidid. Arvutatud murenemisindeksid jäid kõigis proovide madalaks, CIA puhul alla 37 ja PIA puhul alla 36. Kergelt eristusid omavahel nooremad ja vanemad proovid. Ei tuvastatud ka muid murenemisele viitavaid ilminguid, nagu sekundaarsete savimineraalide teke ja iddingsiidistumine.

Märksõnad: murenemine, basaldid, Réunion

CERCS kood: P420 petroloogia, mineraloogia, geokeemia

Weathering of Réunion basalts

The aim of this bachelor's thesis was to describe the petrography and chemical and mineralogical composition of fresh Réunion basalts. In addition, to research whether and to what extent chemical weathering signatures are present in these basalts. The analytical methods used to conduct this research were X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). Two weathering indices were also calculated: the chemical index of alteration (CIA) and the plagioclase index of alteration (PIA). The results demonstrated the presence of two types of samples: olivine-rich and plagioclase-pyroxene-rich. By composition the samples were classic ocean island tholeiites. The calculated weathering indices were low in all samples, less than 37 for CIA and less than 36 for PIA. Slight difference occurred between the older and younger samples. No other weathering indicators, like the forming of secondary clay-minerals and iddingsite, appeared either.

Keywords: weathering, basalts, Réunion

CERCS code: P420 petrology, mineralogy, geochemistry

Sisukord

1.	Sissejuhatus.....	4
2.	Geoloogiline taust.....	5
2.1.	Uurimisala olemus	5
2.2.	Basaltide koostis	6
3.	Keemiline murenemine	8
4.	Materjal ja metoodika	10
4.1.	Proovide päritolu.....	10
4.2.	Analüüsimetodid	11
5.	Tulemused.....	14
5.1.	Röntgenfluorestsents (XRF)	14
5.2.	Röntgendifraktsioon (XRD).....	17
5.3.	Õhik.....	18
5.4.	Skaneeriv elektronmikroskoop (SEM)	19
5.5.	Murenemisindeksid.....	23
6.	Arutelu	24
7.	Kokkuvõte.....	26
	Summary	27
	Kasutatud kirjandus	29
	LISAD.....	33

1. Sissejuhatus

India ookeanis paiknev Réunioni saar on kuumast täpist tekkinud vulkaaniline saar, millele omaselt asub seal basaltse laavaga kilpvulkaan (Albarède *et al.*, 1997; Vlastélic *et al.*, 2018). Vulkaan Piton de la Fournaise on aktiivne ning geoloogilises mõistes noor (Duncan, 1990). Saar asetseb troopilise kliima vöötmes, mis tähendab aastaringselt suurt sademeterohkust ja sooja õhutemperatuuri (Villeneuve *et al.*, 2014). Kõik see viitab intensiivsele keemilisele murenemisele (Maher, 2010). Basaltide murenemine mängib ka olulist rolli CO₂ sidumisel atmosfäärist, kuid varasemad uuringud on teostatud peamiselt Hawaii saartel (Dosseto *et al.*, 2022). Kuigi murenemine on üks olulisimaid faktoreid Maa arengus ja suuresti vastutav selle pinna elamiskõlblikkuse eest, on selles siiani nüansse, mis on raskesti seletatavad ja mida pole piisavalt uuritud (Maher, 2010; West *et al.*, 2005). Seetõttu on oluline murenemist põhjalikumalt uurida, et protsessist saaks kujuneda detailsem arusaam. Murenemiskoorikuid kasutatakse laialdaselt ka paleokliima uuringutes, seega annab murenemise mõistmine võimaluse uurida saare minevikku (Sheldon, Tabor, 2009). Just Réunionil on ühed kõrgeimad keemilise murenemise määrad Maal, mistõttu on see murenemise uurimiseks ideaalne koht (Dosseto *et al.*, 2022).

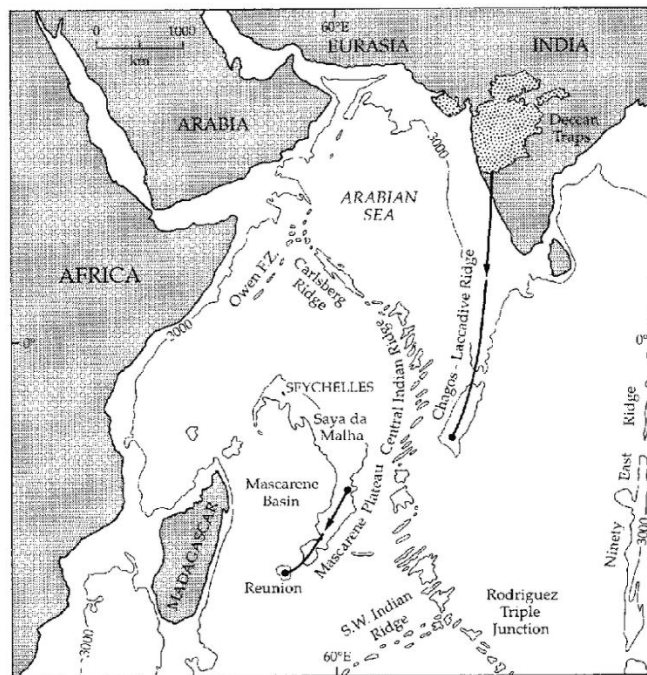
Antud töö eesmärgiks on kirjeldada värskete, 19 kuni umbes 400 aasta vanuste basaltide petrograafiat ja keemilist ja mineraloogilist koostist. Teiseks, uurida kas ja/või kui palju on murenemise ilmingud noortes basaltides jälgitavad.

2. Geoloogiline taust

2.1. Uurimisala olemus

Réunioni saar asub India ookeanis Madagascarist idas ning on osa Maskareenide saarestikust (Merle *et al.*, 2010). Saarel paikneb kaks vulkaani: Piton des Neiges, mis on uinunud ja Piton de la Fournaise, mis on umbes viimased 500 000 aastat aktiivne olnud (Merle *et al.*, 2010). Piton de la Fournaise on kilpvulkaan, mille keskset kraatrit kutsutakse Dolomieuks ning tänu maalihetele on vulkaanil kujunenud ka mitu kaldeerat (Siebert *et al.*, 2011).

Réunioni saare vulkaani Piton de la Fournaise'i puhul on tegemist kuuma täpi vulkanismiga (Vlastélic *et al.*, 2018). Kuuma täpi vulkaan kujutab endast vulkaani, mis ammutab oma magma otse vahevööst ning (vulkaanilised) saare ahelad tekivad, kuna aegamööda liigub litosfäär täpist üle (Davies, 2011, lk 73-74). Kuumad täpid on kujundlikult öeldes fikseeritud, kuna nende liikumine on tänu alumise vahevöö suuremale viskoossusele aeglasem kui tektooniliste plaatide liikumine (Davies, 2011, lk 75). Réunioni saar pärineb Dekkani platoost, kui India laama põhja poole liikumisel nii-öelda maha jäänud saba aktiivseks jäi ning on jätkanud oma liikumist siiani (joonis 1) (Francis, Oppenheimer, 2004).



Joonis 1. Réunioni kuuma täpi liikumine oma alguspunktist tänasesse asukohta (Francis, Oppenheimer, 2004)

Réunioni vulkaanide morfoloogiat on kujundanud erinevad kulutuslikud protsessid nagu erosioon ja maalihked (Michon *et al.*, 2016). Autorite sõnutsi on aga Réunioni saare nõlvad erinevad teistest kuuma täpi saartest nagu Hawaii. Réunioni veealused nõlvad on laugemad ja erodeeritud materjal on neid mööda laiali kantud, samas kui Hawaiiil on nõlvad järsud ja erodeeritud materjal püsib kontsentreeritud asukohtades (Michon *et al.*, 2016). Réunioni läbistab ka kaks riftitsooni – kirdesuunaline ja kagusuunaline – mida mööda suunatakse magma vulkaani väliskülgedele, mille tagajärjel toimuvad ka seal vulkaanipursked (Villeneuve *et al.*, 2014).

2.2. Basaltide koostis

Piton de la Fournaise'i, nagu ka saare teise vulkaani Piton de las Neiges, laavavoolud on basaltsed, seega põhilised mineraalid, millest need koosnevad on oliiviin, klinopürokseen, plagioklass, spinell, magnetiit ja ilmeniit (tabel 1) (Albarède *et al.*, 1997). Basaltide koostis muutub vulkaani eluaja jooksul kergelt leeliselisest toleiidsemaks (Albarède *et al.*, 1997). Koostise muutumine on üleminekuline, kuid suures pildis sõltub vulkaani arenguetappidest, milleks on kilbi moodustumise staadium (*shield (-forming) stage*) ja vaibumisstaadium (*declining stage*) (Upton, Wadsworth, 1972). Autorite teostatud analüüside põhjal on saare mõlema vulkaani kilbi staadiumi kivimid valdavalt oliiviin-hüpersteennormatiivsed. Vaibumisstaadiumi basaltide keskmine koostis on aga nefeliin-normatiivne (Upton, Wadsworth, 1972).

Tabel 1. Piton de la Fournaise'i laavade fenokristallide keskmine koostis (Albarède *et al.*, 1997)

Oksiid	Oliiviin	Klinopürokseen	Plagioklass	Spinell	Ti-magnetiit 1	Ti-magnetiit 2	Ilmeniit
<i>n</i>	97	101	98	50	50	50	50
SiO ₂	39-20 (0-52)	49-57 (0-95)	48-12 (1-56)	0-06 (0-02)	0-10 (0-05)	0-40 (0-83)	0-04 (0-04)
TiO ₂	0-03 (0-01)	1-67 (0-44)	0-08 (0-04)	3-43 (0-73)	21-93 (3-20)	34-42 (1-07)	49-19 (1-11)
Al ₂ O ₃	0-04 (0-05)	4-19 (0-65)	32-45 (0-90)	16-15 (0-70)	2-21 (1-51)	1-41 (0-61)	0-11 (0-08)
FeO	17-90 (2-28)	7-07 (0-84)	0-64 (0-06)	31-99 (0-84)	67-61 (2-25)	63-64 (1-56)	45-24 (0-53)
MnO	0-26 (0-05)	0-15 (0-06)	0-01 (0-02)	0-25 (0-06)	0-54 (0-13)	0-75 (0-08)	0-59 (0-16)
MgO	42-55 (1-96)	14-57 (0-65)	0-11 (0-03)	10-42 (0-30)	2-76 (1-33)	1-94 (0-43)	2-70 (1-00)
CaO	0-30 (0-04)	21-39 (0-66)	16-02 (1-08)	0-01 (0-01)	0-08 (0-12)	0-22 (0-26)	0-17 (0-07)
Na ₂ O	0-01 (0-02)	0-35 (0-07)	2-30 (0-76)	0-01 (0-01)	0-02 (0-01)	0-03 (0-02)	0-01 (0-01)
K ₂ O	0-01 (0-01)	0-01 (0-01)	0-10 (0-06)	0-00 (0-01)	0-01 (0-01)	0-02 (0-02)	0-02 (0-02)
NiO				0-21 (0-06)	0-03 (0-02)	0-07 (0-06)	0-03 (0-03)
Cr ₂ O ₃				35-84 (0-80)	0-05 (0-03)	0-15 (0-11)	0-06 (0-06)
Kokku	100-30	98-97	99-83	98-37	95-34	103-05	98-16

Olles üks tuntumaid kuuma täpi vulkaane, peetakse Réunioni ka väga heaks näidiseks vulkaani purskamise eri etappidest (Bosch *et al.*, 2008). Autorite sõnul on Piton de la Fournaise'i laavade koostis sarnane India ookeani OIB-ide (*ocean island basalt* – ookeaniliste saarte basalt) ja MORB-idega (*mid-ocean ridge basalt* – ookeanide keskahelike basalt). Pb, Hf ja Nd isotoopide varieeruvus ajas on olnud väike, kuid struktureeritud, mistõttu pluumi/laava koostist saab pidada heterogeenseks (Bosch *et al.*, 2008). Laava mitmekesisust saab põhjendada heterogeense vahevöö päritoluga, magma kokkupuutega ookeanilise maakoorega või primitiivse ja noore laava segunemisega (Di Muro *et al.*, 2014).

Réunioni vahevöö pluum ei ole suure osa Maa ajaloost olnud konvekteriva vahevööga ühenduses, sellele viitavad basaltide ebatavaline isotoopkoostis, kokkusobimatud jälgelementide suhted ja isotoopanaomaaliad (Nauret *et al.*, 2019). Lisaks on Réunioniga samast kuumast täpist tekkinud Mauriitsiuse saarelt leitud Arhaikumi-vanuselisi tsirkoone, mis võib tähendada, et pluumi magma ei pärine puhtalt vahevööst, vaid sisaldab ka kontinentaalse maakoore fragmente (Nauret *et al.*, 2019). Tsirkoonide U-Pb vanus osutab nende Eelkambriumi-eelsele kontinentaalsele päritolule, mis moodustas kunagi Madagascari ja India ühise tuumiku ja sattus Mauriitsiusele nende lahknemisel (Ashwal *et al.*, 2017).

3. Keemiline murenemine

Keemiline murenemine on protsess, mis toimub, kuna kivimid pole ümbritseva keskkonnaga tasakaalus ning selle saavutamiseks hakkavad mineraalid lagunema (Maher, 2010). See protsess sõltub suuresti kliimast, vee olemasolust ja ajast, aga ka füüsilisest erosioonist (Maher, 2010). Murenemise lõpp-produktiks on muldade teke ning autorite sõnutsi vastutab see protsess globaalse CO₂ tasakaalu säilitamises, mis tagab omakorda temperatuuride stabiilsuse, taimede kasvu ja vedela vee olemasolu.

Réunion on troopilise kliima vöötmes paiknev vulkaaniline saar (Rad *et al.*, 2011; Villeneuve *et al.*, 2014). Ümbritsetuna India ookeanist, valitseb saarel aastaringselt kõrge õhuniiskus (keskmiselt 70-80%) ja eksisteerib kaks aastaaega – talveperiood ja suveperiood (Villeneuve *et al.*, 2014). Sealsele kliimale on omased troopilised tsüklonid, mis leiavad aset soojemal aastajal ning autorite sõnutsi on need ka suurimaks ohuks saare elanikele ja infrastruktuurile. Réunioni saart (eriti idakallast) peetakse kõige vihmasemaks kohaks maal ning saar on püstitanud ka mitu rekordit (Dosseto *et al.*, 2022; World Meteorological Organization, s.a.).

Kivimite keemilist murenemist on saarel uuritud mitmest eriaspektist lähtuvalt. Tegu on keemilise murenemise vallas ühe kõige aktiivsema piirkonnaga maailmas (Chen *et al.*, 2025). Rad *et al.*, (2011) on rõhutanud põhjavee ringluse olulist rolli murenemisele. Kui varasemalt peeti murenemise põhjustajaks peaaesjalikult jõgesid, siis Rad *et al.*, (2011) viitavad uurimuses faktile, et vulkaanilises keskkonnas liigub ka suur osa jõgede veest läbi pinnase. Lisaks vee olemasolule on oluline roll ka temperatuuril ning sellel, kui kaua kulub veel pinnases liikumiseks (Rad *et al.*, 2011). Põhjavee konvektsiooni tõttu pinnases transporditakse soojust maapinnale lähemale ning aset saavad leida hüdrotermaalsed protsessid (Rad *et al.*, 2011). Sama uuringu põhjal saab öelda ka, et mida rohkem aega põhjavesi pinnases liikumiseks veedab, seda suurem on tema murenemise mõju, kuna leostumine saab kauem kesta. Ühes sarnase eesmärgiga uuringus analüüsiti murenemist Réunionil suuremate jõgede keemilise koostise kaudu (Chen *et al.*, 2025). Ka seal uurimuses leiti, et murenemine sõltub paljuski veega kokkupuutest, põhjustades nii kõrge- kui madalatemperatuurilist murenemist, vastavalt basaldi reageerimisel väävel- või süsihappega (Chen *et al.*, 2025). Kuid selle uurimuse autorid tõid välja ka kolmanda komponendi, mis osutus olulisemaks kui kaks eelmist, põhjustades valdava enamuse CO₂ – gaas, mida seotakse keemilise murenemise käigus – tarbimisest. Nimelt on suur roll maalihetel, kuna need avavad sügavamal

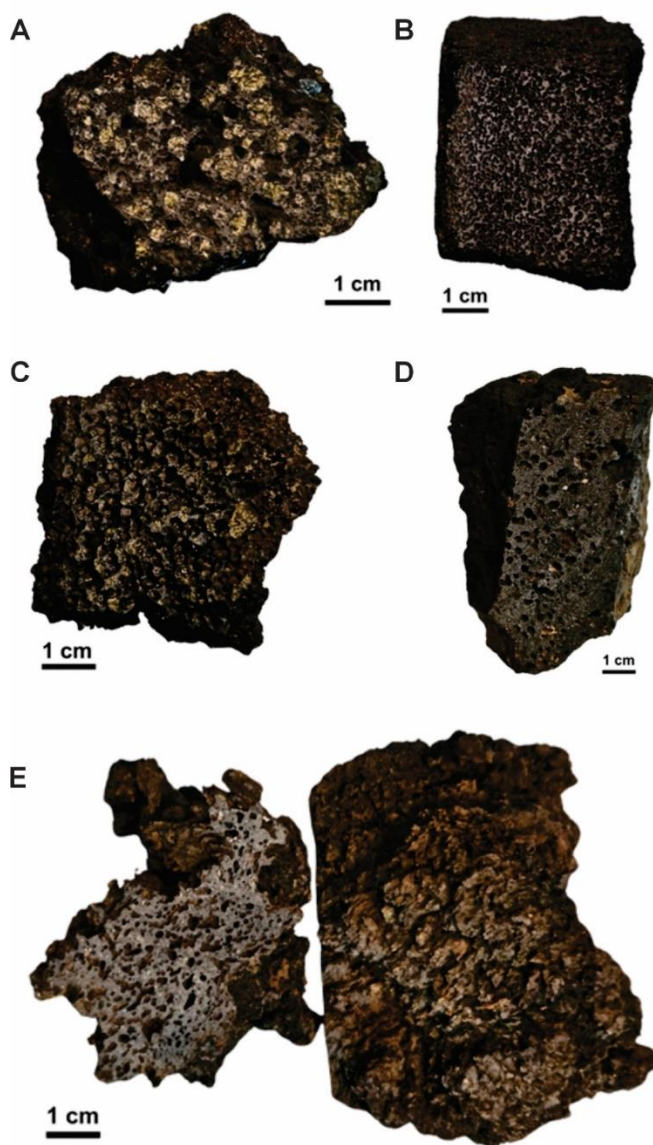
tekinud primaarsed ning hüdrotermaalsed mineraalid atmosfäärile, sealjuures ka veele, võimendades nii keemilist murenemist (Chen *et al.*, 2025).

Globaalsele CO₂-ringlusele avaldab kõige suuremat mõju silikaatsete kivimite keemiline murenemine, mille seas on basaldid ühed kergesti murenevamad (Dessert *et al.*, 2003). Basaltsete kivimite murenemine seob ligikaudu 30% kogu silikaatide murenemisele kuluvast CO₂-st. See on märkimisväärne hulk, arvestades, et vulkaanilised saared moodustavad vaid murdosa Maa maismaast, mistõttu on nende rolli uurimine kontinentaalses murenemisvoos erakordselt oluline (Dessert *et al.*, 2003; Dosseto *et al.*, 2022). Üks võimalus murenemise hindamiseks on CIA arvutamine, mille väärtus kasvab proportsionaalselt primaarsete mineraalide lagunemise ja sekundaarsete savimineraalide tekkega (Sheldon, Tabor, 2009).

4. Materjal ja metoodika

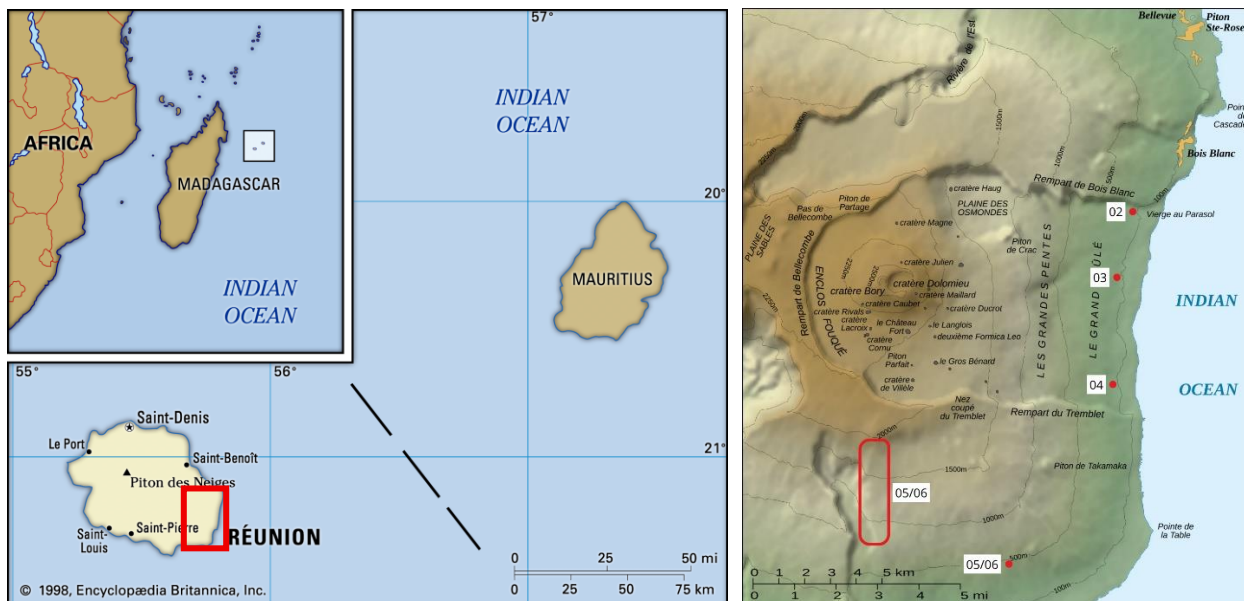
4.1. Proovide päritolu

Käesolevas töös kasutatud proovid (joonis 2) kogus Sigrid Soomer Tartu Ülikooli Maateaduste ja Ökoloogia Instituudi doktorikooli ekspeditsiooni käigus Réunioni saarelt aastal 2018. Proovide umbkaudsed asukohad on märgitud joonisele 3, kuna täpsed koordinaadid puuduvad. Kokku uuriti viite basaldi proovi (joonis 2). Nelja proovi korjamise kuupäev on teada, üks on teadmata.



Joonis 2. Bakalaureusetöös uuritud vesikulaarsed basaldid, mis erinevad oliviini sisalduse poolest.

A – proov 02, B – proov 03, C – proov 04, D – proov 06, E – proov 05



Joonis 3. (A) Réunioni saare asukoht, punasega tähistatud uurimispiirkond (Encyclopedia Britannica, 2026). (B) Proovide umbkaudsed asukohad, modifitseeritud (Gaba, 2007).

4.2. Analüüsimeetodid

Kõikidest proovidest lõigati kaks umbes 4 sentimeetri laiust ja 3 sentimeetri paksust tükki. Esimene komplekt tükke kasutati skaneeriva elektronmikroskoobi (edaspidi SEM) analüüsi tarbeks ning teine komplekt jagati röntgenfluorestsents (*x-ray fluorescence*, edaspidi XRF) ja röntgendifraktsiooni (*x-ray diffraction*, edaspidi XRD) analüüside jaoks. Lisaks tehti täiendavaks kirjeldamiseks ühest oliviini-rikkast proovist, 04 petrograafiline õhik.

4.2.1. SEM

SEM uuringuteks tehti 5 lihvi, mida uuriti kasutades ZEISS EVO MA15 skaneerivat elektronmikroskoopi madalvaakumi režiimis. Keemilise koostise kirjeldamine (punktanalüüs ja elementide kaardistamine) tehti SEM-iga ühendatud Oxford AZTEC-MAX energiadiispersiivse spektromeetria detektoriga (EDS).

4.2.2. XRD

XRD analüüsi teostamiseks jahvatati proov kuulveskis, kasutades teraskuule. Saadud pulber uhmerdati käsitsi üle ahhaat uhmris. Seejärel pressiti proovid metallist proovialustesse. Orienteerimata preparaate skaneeriti Bruker D8 Advance difraktomeetril, kasutades Cu K α kiirgust ja LynxEye positsioonitundlikku detektorit vahemikus 2–70° 2 Θ . Kvantitatiivne mineraloogiline koostis modelleeriti Rietveldi algoritmil põhineva tarkvara Siroquant 5 abil. Kvantifitseerimise suhteline viga on põhifaaside (>5 massiprotsenti) puhul alla 10% ja kõrvalfaaside (<5 massiprotsenti) puhul alla 20%.

4.2.3. XRF

Eelnevalt uhmerdatud proovidest mõõdeti umbes 2-3 grammi proovi portselantiiglitessse. Proovid asetati kaheks tunniks 105 kraadisesse ahju kuivama. Proovid kaaluti. Kivimi põhielementide sisaldused mõõdeti Li-boraatide segus lahustatud proovist. Selleks kaaluti platinatiiglisse 12 g liitium-tetraboraadi ja -metaboraadi segu ning 0.6 g proovi, mis oli enne kuumutatud 950°C juures 4 tundi. Proov lahustati boraatide segus 1050°C juures kasutades elektrilist sulatusahju Katanax X-300. XRF analüüs teostati Rigaku ZSX PrimusIV spektromeetriga. Andmekvaliteedi kontrollimiseks kaasati basalti referentsmaterjal, BHVO-2 (Hawaii basalt, USA geoloogia teenistuse referentsmaterjal) tundmatu proovina XRF preparaatide ettevalmistamisel ja mõõtmisel.

Basaldiproovide kategoriseerimiseks koostati kolm diagrammi: AFM-diagramm toleiidse ja kaltsium-leeliselise seeria eristamiseks, TAS-diagramm vulkaniitide klassifitseerimiseks ning TiO₂*10MnO*10P₂O₅-diagramm kaarebasaltide, OIB, MORB ja boniniidi seeria eristamiseks. Diagrammidele lisati võrdluse eesmärgil ka Lanzafame *et al.*, (2023) uurimuse andmed (tabel 2), mis on koostatud samuti Piton de la Fournaise'i proovide põhjal.

Tabel 2. Standardi BHVO-2 põhioksiidide sisaldused (United States Geological Survey, 2022)

Oksiid	Massiprotsent (g/100 g)	Määramatus (g/100 g)	n ¹	Märkused
Al ₂ O ₃	13.44	0.06	24	2,4
CaO	11.40	0.06	28	2,4
Fe ₂ O ₃ T	12.39	0.09	25	2,4,5
K ₂ O	0.5130	0.0037	25	2,4
MgO	7.257	0.042	26	2,4
MnO	0.1690	0.0019	35	2,4
Na ₂ O	2.219	0.048	27	2,4
P ₂ O ₅	0.2685	0.0050	27	2,4
SiO ₂	49.60	0.14	27	2,4
TiO ₂	2.731	0.018	50	2,4

4.2.4. Murenemisindeksid

Proovide murenemise intensiivsuse hindamiseks kasutati kahte murenemisindeksit: keemilise muundumise indeks (*Chemical Index of Alteration*, edaspidi CIA) (Nesbitt, Young, 1982) ja plagioklassi muundumise indeks (*Plagioclase Index of Alteration*, edaspidi PIA) (Fedo *et al.*, 1995).

CIA ja PIA leidmiseks kasutati järgnevaid valemeid:

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100,$$

$$PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O - K_2O)] \times 100.$$

4.2.5. Digitaalsed töövahendid

Kõikide töö jaoks loodud või täiendatud jooniste kujundamiseks ning fotode töötlemiseks on kasutatud Canva Pro programmi. Diagrammide ja tabelite loomiseks on kasutatud Exceli programmi. Töös on kasutatud tehisintellektil põhinevat programmi Anara vaid oskussõnade tõlkimiseks.

5. Tulemused

5.1. Röntgenfluorestsents (XRF)

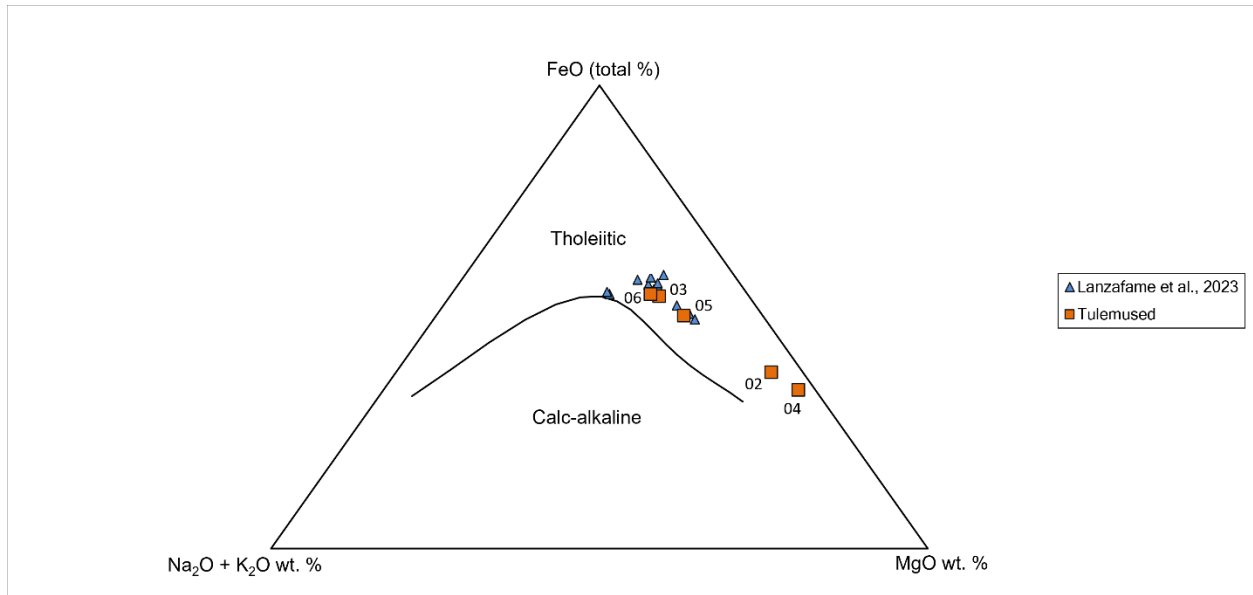
Analüüsiga saadud tulemuste kvaliteedi hindamiseks võrreldi neid standardiga (BHVO-2). Tulemuses (tabel 3) on esitatud 18 erineva oksiidi sisaldus kõigis proovides ja standardis. Tulemuses on arvestatud kuumutuskadu ja need on esitatud tabelina (tabel 3). Töös arvatud BHVO-2 sisaldused kattuvad *United States Geological Survey* (USGS) andmetega 78,2 – 107,2 protsendiliselt. Suurim erinevus on P_2O_5 (78,2% kattuvust), Al_2O_3 (86,8% kattuvust) ja SiO_2 (87,8% kattuvust) sisaldustes. Töös saadud tulemustest oli K_2O sisaldus kõrgem ning ülejäänud elementide sisaldused madalamad USGS andmetest.

Tabel 3. XRF tulemused

Oksiid	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Mn ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	ZrO ₂	SrO	V ₂ O ₅	NiO	CuO	BaO	Y ₂ O ₃	LOI	SUM
Ühik	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%	mass%
02	1,37	21,74	8,16	44,97	0,19	0,45	6,73	1,68	0,20	14,50	0,27	0,018	0,009	0,029	0,119	0,011	0,014	0,008	-0,99585	99,48
03	2,45	7,43	13,19	47,70	0,28	0,74	10,78	2,64	0,18	12,71	0,08	0,029	0,021	0,052	0,016	0,016	0,024	0,010	-0,75102	97,60
04	0,86	28,52	5,67	42,71	0,10	0,32	4,67	1,24	0,20	15,48	0,39	0,003	0,014	0,019	0,168	0,012	0,007	0,008	-0,31199	100,08
05	2,39	9,67	12,87	48,07	0,28	0,70	9,84	2,67	0,18	12,90	0,12	0,018	0,026	0,042	0,030	0,010	0,002	0,010	-0,04483	99,78
06	2,57	7,31	13,88	47,17	0,33	0,99	10,69	3,11	0,19	13,27	0,06	0,040	0,025	0,048	0,015	0,012	0,006	0,010	-0,34425	99,38
BHVO-2	2,11	6,70	11,66	43,55	0,21	0,55	10,84	2,64	0,18	12,01	0,03	0,015	0,014	0,044	0,014	0,017	0,012	0,009	-0,59534	90,02
BHVO-2 (USGS)	2,219	7,257	13,44	49,6	0,2685	0,513	11,4	2,731	0,1690 (MnO)	12,39										

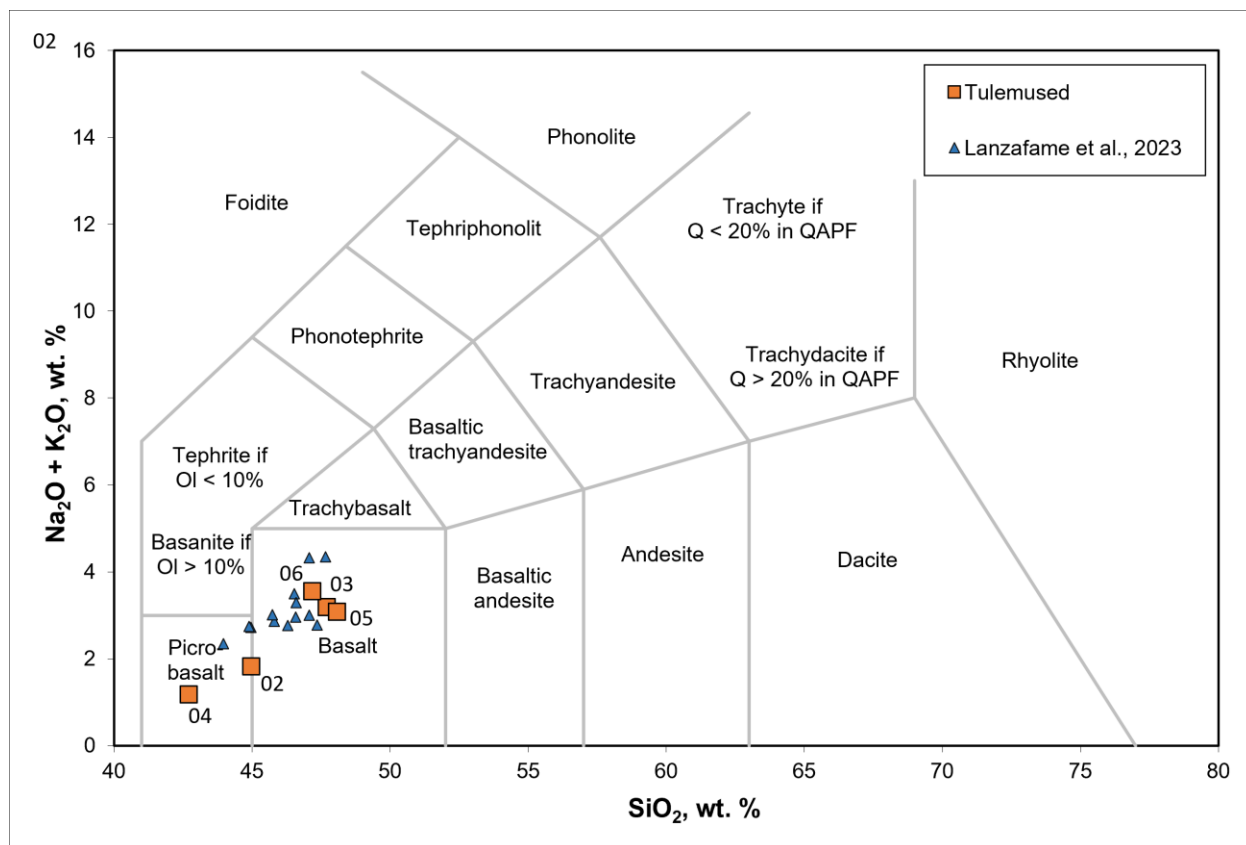
XRF keemia põhjal eristuvad kahte tüüpi proovid. Proovides 02 ja 04 on kõrgemad MgO ja Cr_2O_3 sisaldused, kuid madalamad Na_2O , Al_2O_3 , CaO ja TiO_2 sisaldused. Proovides 03, 05 ja 06 on tulemused vastupidised. Kaks proovi on seega Mg-rikkamad ning kolm proovi Ca- ja Na-rikkamad.

Tulemused on esitatud ka AFM-, TAS- ja Ti, Mn ja P oksiididel baseerual diskriminantdiagrammidel (joonised 4-6). AFM-diagramm on kolmnurkdiagramm, mis näitab proovis leeliste (A), raua (F) ja magneesiumi (M) oksiidide suhtelist osakaalu. TAS-diagramm on klassifikatsioonidiagramm, mille abil määratakse ränidioksiidi ja leeliste summa sisalduste põhjal kivimi tüüp. Ti, Mn ja P oksiididel baseeruv diagramm on kolmnurkdiagramm, mille abil määratakse titaani, mangaani ja fosfori oksiidide sisalduste põhjal kivimi petrotektooniline keskkond. Kõikidel diagrammidel on antud töös saadud tulemusi võrreldud Lanzafame *et al.*, (2023) uuringuga.



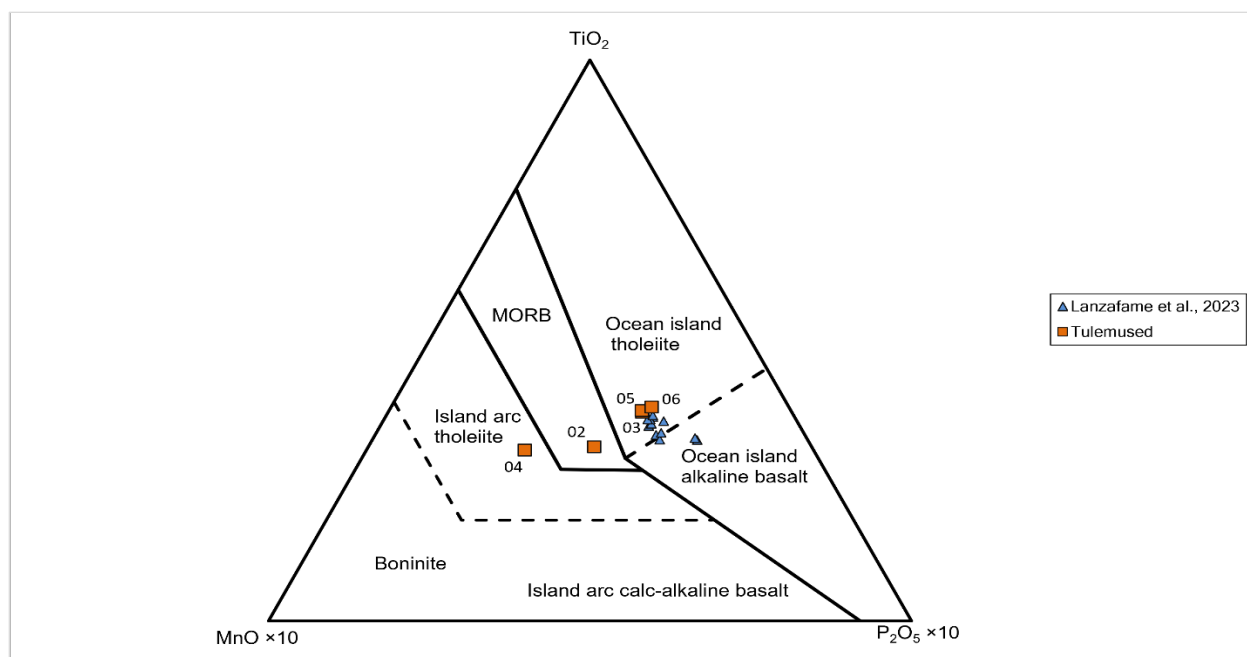
Joonis 4. Tulemuste põhjal joonistatud AFM-diagramm. Diagramm näitab, kas basalt kuulub koostiselt teoliitilisse või kaltsium-leeliselisse seeriasse leeliste, magneesiumoksiidi ja raudoksiidi sisalduste põhjal.

Diagrammil eristuvad peamiselt kaks gruppi proove. Proovid 02 ja 04 hõlbivad nähtavalt ülejäänud kolmest proovist Mg-rikkama koostise poolest. Kõik proovid kuuluvad graafiku järgi toleiitisesse seeriasse ning nende tulemused kattuvad ka võrdluseks toodud Lanzafame *et al.*, (2023) uurimusega.



Joonis 5. Tulemuste põhjal joonistatud TAS-diagramm. Diagramm vulkaaniliste kivimite klassifitseerimist leeliste ja ränidioksiidi sisalduste põhjal.

Diagrammil eristuvad kaks proovi ülejäänud kolmest. Proovid 03, 05 ja 06 on üsna sarnaste tulemustega ja paiknevad basaltse koostise vahemikus. Proovid 02 ja 04 aga kalduvad põhiseeriast kõrvale: 02 paikneb basaltse ja pikrobasaltse koostise piiril ning 04 on diagrammil pikrobasalt. Ka võrreldava uuringu tulemustes on suurem varieeruvus, kuid üldiselt jäävad need samasse vahemikku proovidega 02, 03, 05 ja 06.



Joonis 6. Tulemuste põhjal joonistatud Ti, Mn ja P oksiidide disriminantdiagramm. MORB (*Mid-Ocean Ridge Basalt*) – ookeani keskaheliku basalt. Diagramm näitab, millises tektoonilises keskkonnas basalt on tekkinud titaani, mangaani ja fosfori oksiidide sisalduste põhjal.

Diagrammil on näha kolmest proovist koosnevad põhiseeriat ning kahte eristuvat proovi. Proovid 03, 05 ja 06 on koostise poolest sarnased ning diagrammi kohaselt klassifitseeritud ookeanisaare toleiitidena, kattudes varasemalt publitseeritud andmetega. Proov 02 paikneb diagrammil aga MORB-i vahemikus ning proov 04 on diagrammil koostiselt saarkaare toleiit. Võrreldava uuringu tulemused on valdavalt ookeani saare toleiidid, kõrvalekaldega ookeani saare leeliselistesse basaltidesse.

5.2. Röntgendifraktsioon (XRD)

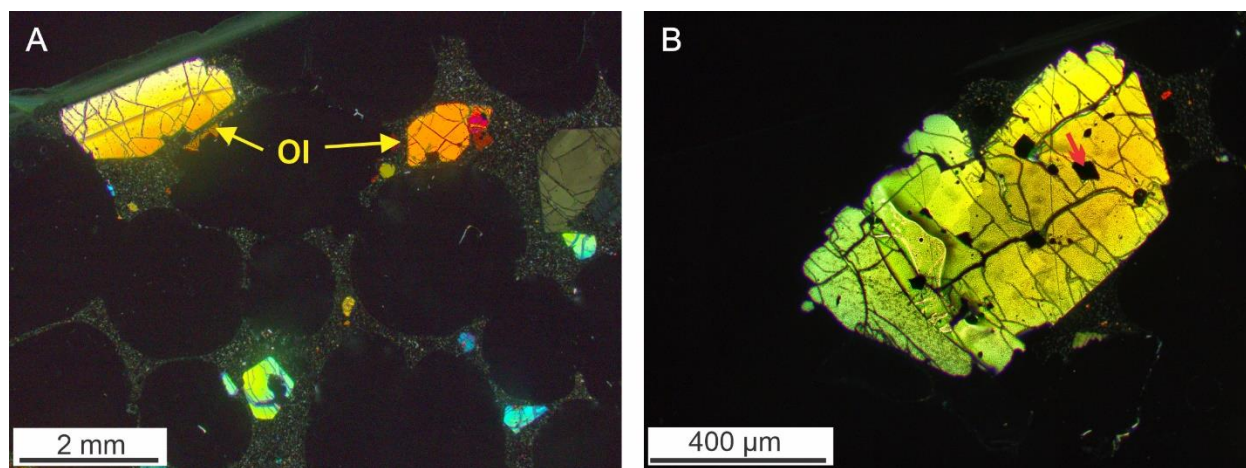
Tulemustes on esitatud 8 erineva mineraali sisaldus proovides. Lisaks on näidatud vulkaanilise klaasi olemasolu proovides. Tulemused on esitatud tabelina (tabel 4).

Tabel 4. Analüüsitud proovide mineraloogiline koostis (%)

	Pürokseen	Plagioklass	Oliivin	Ilmeniit	Ulvospinell	Titaniit	Kips	Magnetiit	klaas
02	26,8	24	45,4	0,9	2,8				
03	36,3	41	19,3	1,3	2,1				+
04	18,5	17,6	60,9	1,9	0,3	0,7			+
05	36,1	42,8	13,4	0,7	5,8		0,8		
06	37,3	41,3	12,8	0,9	6,5			1	

Sarnaselt XRF tulemustega eristuvad proovid kahte rühma. Proovides 02 ja 04 on kõrge oliiviini sisaldus (45,4-60,9%) ja madal plagioklassi sisaldus (17,6-24%). Samuti on neis madalam pürokseeni sisaldus (18,5-26,8%), kuid erinevus pole sama drastiline kui kahe eelnevalt nimetatud mineraali puhul. Proovides 03, 05 ja 06 on kõrge plagioklassi sisaldus (41-42,8%) ja kõrgem pürokseeni sisaldus (36,1-37,3%) ning madal oliiviini sisaldus (12,8-19,3%). Ilmeniidi ja ulvospinelli sisaldus on kõigis proovides üsna madal (vastavalt 0,7-1,9% ja 0,3-6,5%), veidi rohkem on ulvospinelli proovides 05 ja 06. Titaniiti leidub vaid proovis 04, kipsi vaid proovis 05 ja magnetiiti vaid proovis 06. Vulkaanilist klaasi leidub proovides 03 ja 04.

5.3. Õhik



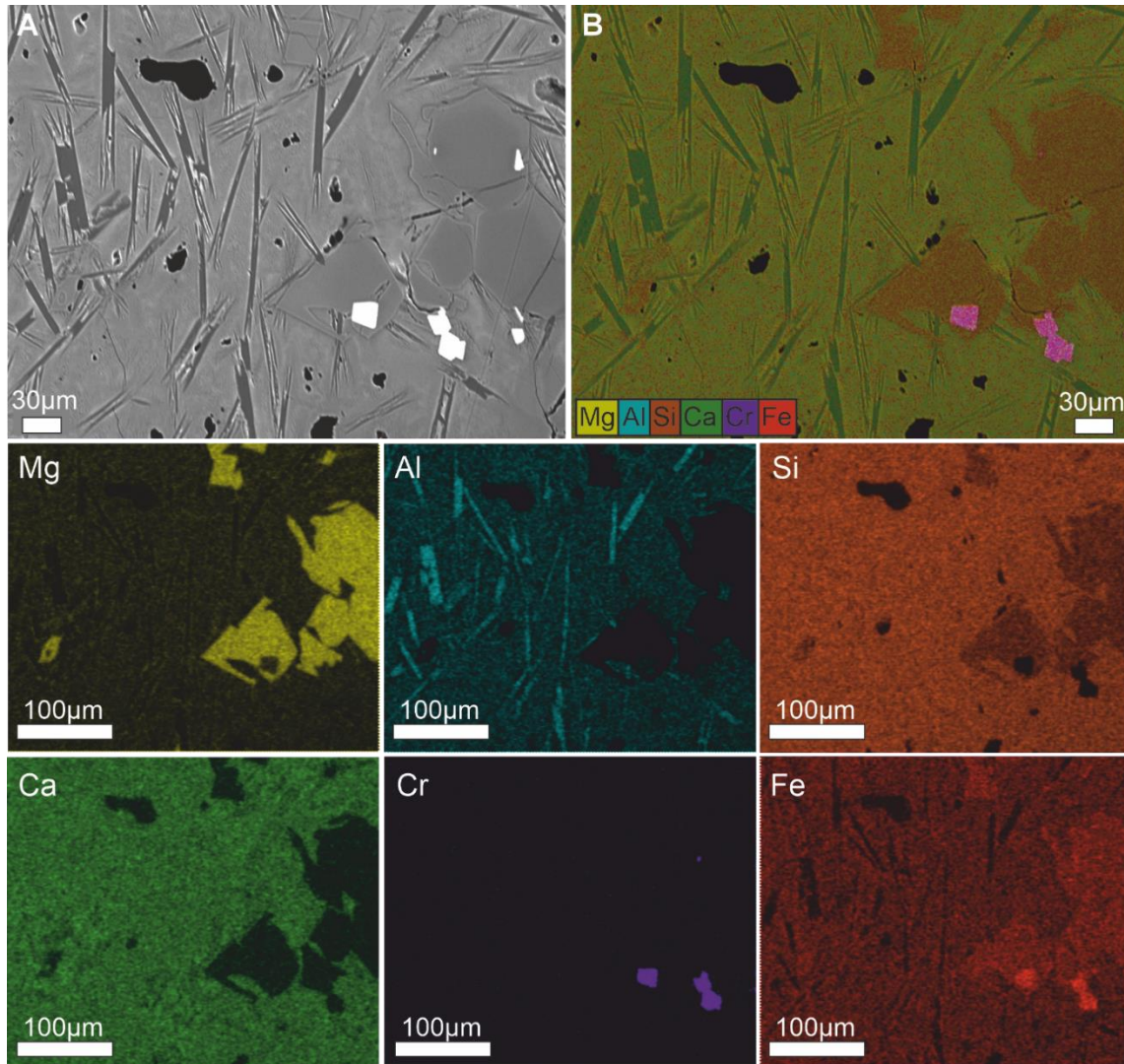
Joonis 7. Polarisatsiooni mikroskoobiga ristniikolites tehtud pildid proovi 04 õhikust.

Joonisel 7A Õhikus on näha tüüpilist vesikulaarse tekstuuri ja porfüürilise ning kohati intersertaalse struktuuriga basalti oliiviini fenokristallidega. Põhimass koosneb krüptokristalsest kuni peeneteralisest pürokseeni ja plagioklassist ning vulkaanilisest klaasist. Joonisel 7B on

kujutatud lähivõtte lõhelisest oliviini fenokristallist, mis on kohati resorbeerunud servadega. Punase noolega on näidatud isotroopsed ulvospinelli/kromiidi suletised.

5.4. Skaneeriv elektronmikroskoop (SEM)

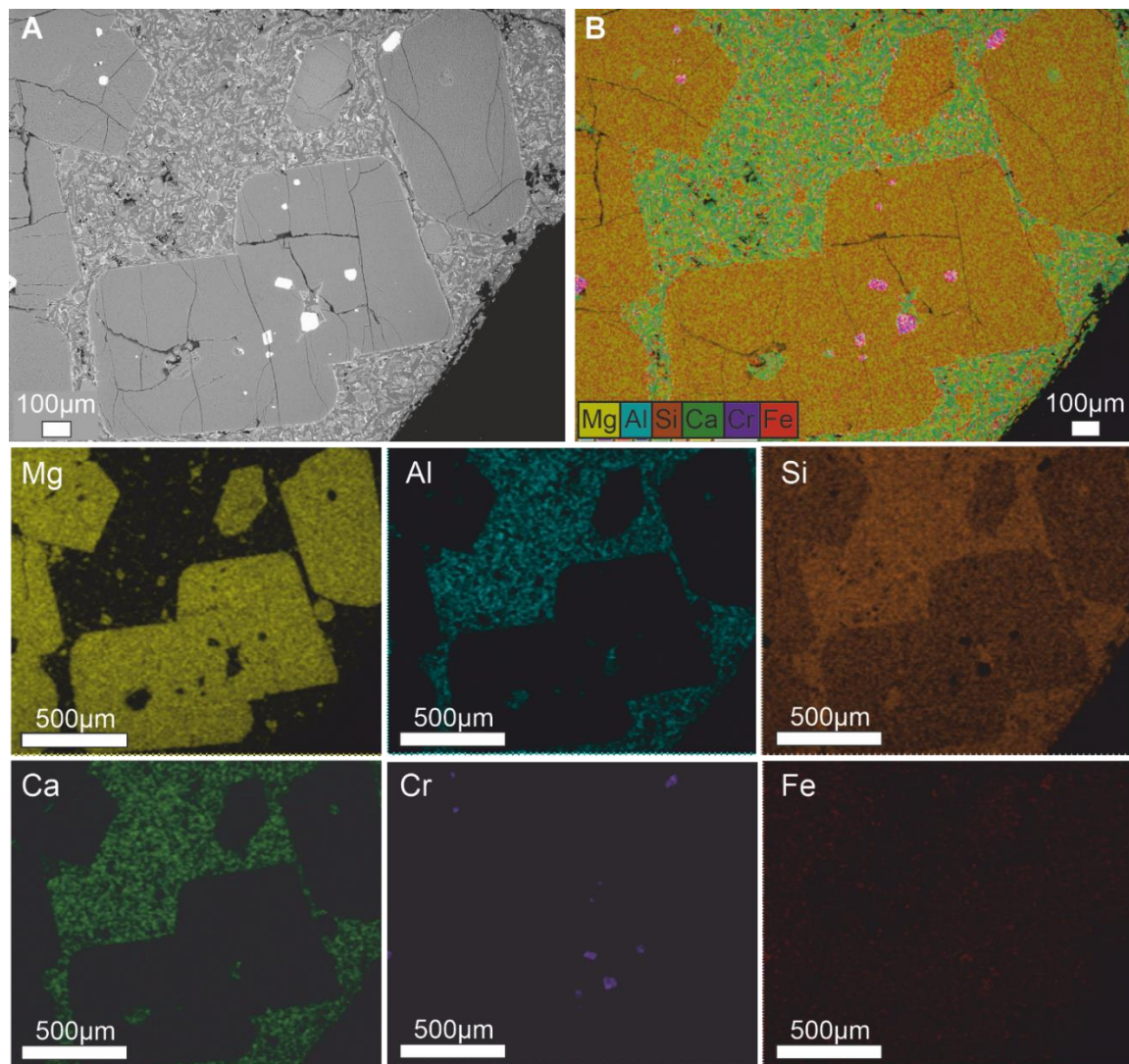
Tulemused on esitatud graafiliselt kujundatud joonistena (joonised 8-11).



Joonis 8. SEM analüüsi tulemused proovist 02. Tagasihajunud elektronide kujutis (A) ja elementide kaart (B). Tegu on oliviini-rikka prooviga.

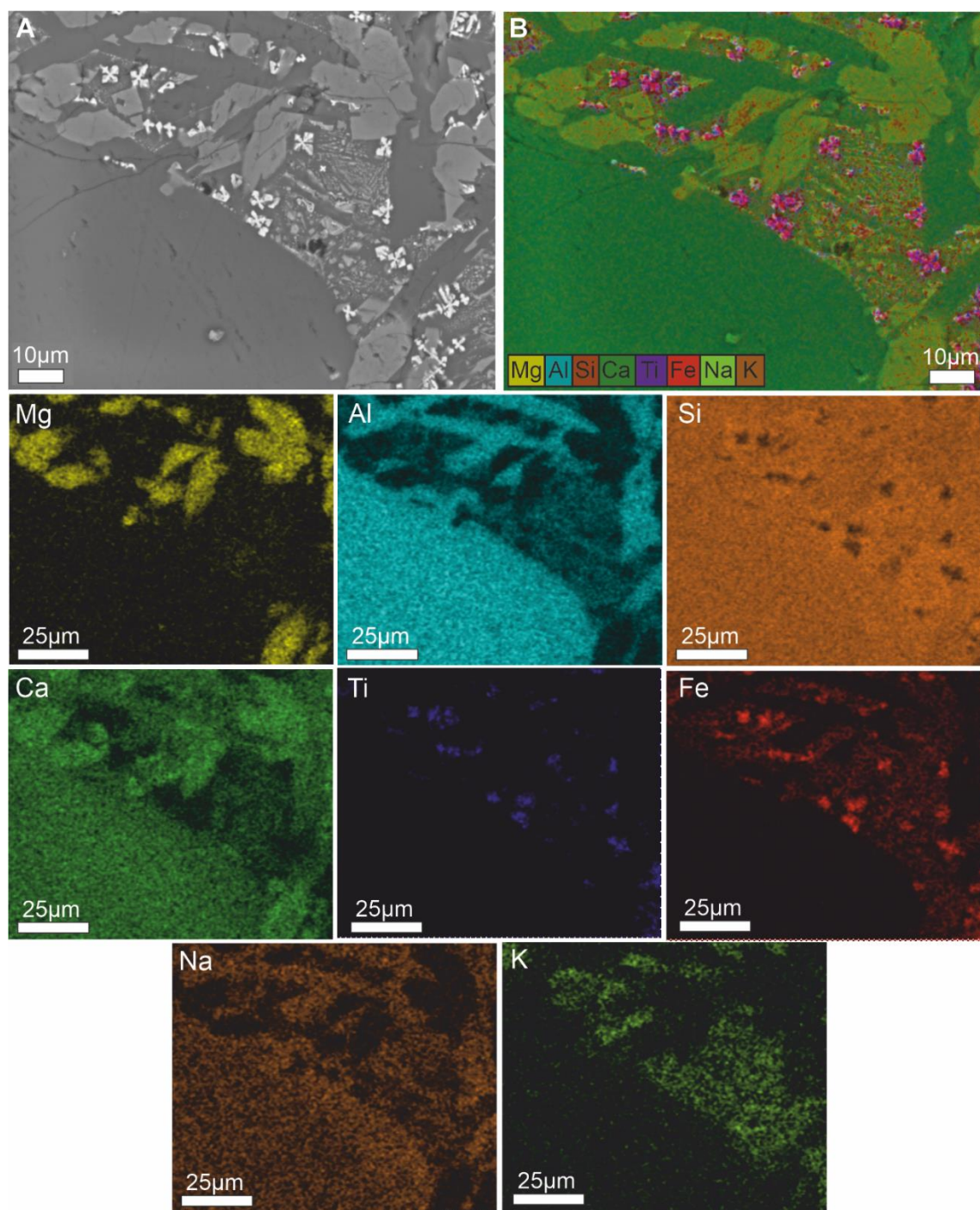
Kollane põhimass koosneb pürokseenist, plagioklassist ning vulkaanilisest klaasist (joonis 8B). Roheliselt on näha suuremad nõiõeljad/prismalised plagioklassikristallid, mis joonistuvad hästi välja

alumiiniumi kaardil. Põhimassi sees on näha suuremad oranžid oliviini fenokristallid, millega kaasneb aktseessoorne kroom (roosa) kromiidi suletisena.



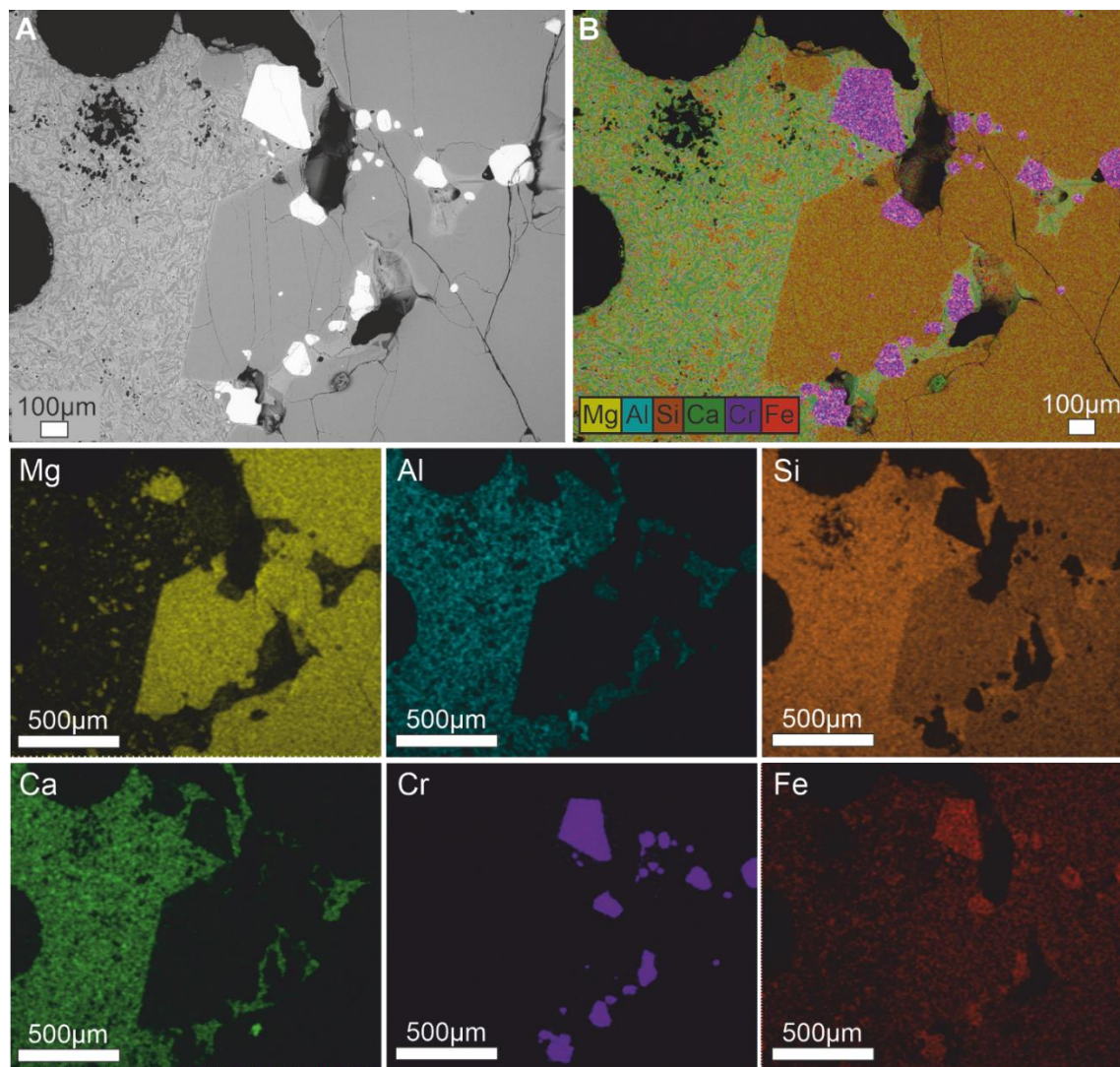
Joonis 9. SEM analüüsi tulemused proovist 04. Tagasihajunud elektronide kujutis (A) ja elementide kaart (B). Tegu on oliviini-rikka prooviga.

Joonisel 9B kujutatud põhimass on peeneteraline ja koosneb plagioklassist, pürokseenist ning vulkaanilisest klaasist. Põhimassis prismalisi plagioklassikristalle ei esine. Oranžina on näha suured oliviini fenokristallid, mida on eelmise prooviga võrreldes rohkem.



Joonis 10. SEM analüüsi tulemused proovist 05. Lähivaade põhimassist tagasihajunud elektronide kujutis (A) ja elementide kaart (B). Tegu on plagioklass-pürokseeni-rikka proovi põhimassiga.

Joonisel 10B on rohelise faasina keskmise koostisega (koosneb nii Ca kui Na) plagioklass. Rohekaskollaste kristallidena tuleb välja diopsiidi tüüpi pürokseenid. Lisaks on näha valgeid dendriitseid kogumikke, mis koosnevad rauast ja titaanist ehk ilmeniidi kristallid.



Joonis 11. SEM analüüsi tulemused proovist 06. Tagasihajunud elektronide kujutis (A) ja elementide kaart (B). Tegu on plagioklass-pürokseeni-rikka prooviga.

Joonisel 11B on roheliselt nähtav põhimass, mis koosneb plagioklassist, pürokseenist ja vulkaanilisest klaasist. Oranžilt on näha üks suurem oliviini fenokristall. Lillalt on näha suuremad kroomi-raua kristallid ehk kromiidid.

Proovi 03 SEM analüüsi tulemused on leitavad lisades (lisa 2). Analüüsi tulemused kordasid juba teistes proovides analüüsitud infot.

5.5. Murenemisindeksid

Tabel 5. Arvutatud murenemisindeksid CIA ja PIA

Proov	02	03	04	05	06
CIA	35,3	35,0	35,6	36,3	36,0
PIA	34,6	34,4	34,9	35,7	35,1

Arvutatud murenemisindeksid on kõikides proovides sarnased. Nii CIA kui PIA puhul eristub veidi madalama tulemuse poolest proov 03 ja kõrgema tulemuse poolest 05.

6. Arutelu

Antud töös käsitletud proovid jaotuvad kahte rühma, mis eristusid nii petrograafiliselt, mineraloogiliselt kui keemilise koostise poolest. Nendeks on oliviini-rikkad proovid (02 ja 04) ning plagioklassi- ja pürokseeni-rikkad proovid (03, 05 ja 06). Seda toetavad ka XRF tulemused, kus proovides 02 ja 04 on suurim MgO ja madalam CaO sisaldus. Seevastu proovides 03, 05 ja 06 on aga suurem plagioklassi sisaldus, mida kinnitab nende kõrgeenenud CaO sisaldus. Teistsugune koostis tuleneb sellest, et proovid on erineva vanusega laavavooludest. Märkimist väärib asjaolu, et proov 02 pärineb aastast 2002, proov 04 aastast 2007 (mõlemad oliviini-rikkad), samas proov 03 pärineb laavavoolust, mis tekkis 2004. aastal, on hoopis plagioklassi ja pürokseeni rikas. Detailsemaks uuringuks tuleks keskenduda oliviini-rikastes proovides põhimassile, kuna oliviini kristallid esinevad ksenoliitidena ning ei ole tasakaalus ümbritseva laavaga. Kui oliviini kristallid kõrvale jätta, oleks erinevate laavavoolude koostis tõenäoliselt sarnasem.

Kahte tüüpi proovide esinemist kinnitavad ka kolm diskriminantdiagrammi (joonised 4-6). Proovid 03, 05 ja 06 annavad sarnased tulemused ning klassifitseeruvad diagrammide põhjal ookeaniliste saarte toleiitse seeria basaltideks. See tulemus kattub ka varasemalt teostatud uurimustega (Duncan, 1990; Lanzafame *et al.*, 2023). Proovid 02 ja 04 aga hõlbivad üldisest seeriast ja esitavad Mg-rikkamat tulemust. See kõrvalekalle on samuti seletatav nende suurema oliviini sisaldusega. Nagu eelnevalt mainitud, esinevad oliviinikristallid antud töö basaltides ksenoliitidena, st sügavamad päritolu kristallidena, mis on basaltse magma poolt kaasahaaratud. Seetõttu on nende kahe proovi kõrvalekaldumine põhiseeriast ootuspärane.

SEM analüüsi põhjal koosneb kõigi proovide põhimass plagioklassist, pürokseenist ja vähesel määral vulkaanilisest klaasist. Kõigis lihvides esineb varieeruv koguses oliviini fenokristalle, mis on punktanalüüsides põhjal läbivalt magneesiumi-rikkad. Kõikides proovides tuvastati krooni sisaldavaid mineraale, mis viitab ulvospinellile, mida tuvastati ka XRD-ga. Proovis 05 hakkasid silma valdavalt titaani sisaldavad mineraalid, kuigi XRD põhjal on selles ulvospinelli sisaldus üks kõrgemaid analüüsitud proovide puhul. Selline erinevus võib olla põhjustatud SEM analüüsi ala valikust või asjaolust, et ulvospinelli kristallid on võrreldes teiste proovidega palju väiksemad ja jäid märkamata. Samas on proovis 05 SEM analüüsi põhjal tuvastatud titaani, mis sobib ilmeniidi koostisega, kuid huvi pakub see, et XRD põhjal proovis 04 leiduvat titaniiti SEM ei tuvastanud. Ka see võib tuleneda mõõtmiskoha valikust.

Oliiviini fenokristallid on küll lõhelised, aga üldiselt värske ilmega ning murenemisilminguid, nagu iddingsiidistumine, ei tuvastatud (joonis 7). Nii SEM kui XRD analüüs, ei näita proovides ka savimineraalide teket vulkaanilise klaasi arvelt, mis on üks varasemaid märke murenemisest.

Arvutatud murenemisindeksid jäid kõigi proovide puhul madalaks. CIA tulemused jäävad vahemikku 35,0 – 36,3 ja PIA tulemused vahemikku 34,4 – 35,7. Murenemist basaldis näitavad aga indeksid, mis CIA puhul on üle 45 ning PIA puhul üle 50 (Fedo *et al.*, 1995; Nesbitt, Young, 1982). Seega ei viita indeksid proovides märgatavale murenemisele. Tulemus on kooskõlas ka proovide teadaolevate vanustega, mis on geoloogilises mõttes väga noored. Kergelt eristuvad omavahel saare nooremad ja vanemad proovid (noorima proovi CIA on 35,3, PIA on 34,6 ja vanima proovi CIA on 36,3, PIA on 35,7). Võrreldes tulemusi Torp (2013) magistritööga, kus käsitleti Islandi basaltide murenemist, on näha, et niiske ja soe kliima soodustab murenemist. 16 miljoni aasta vanustes kivimites pole murenemiskoorikut välja arenenud ning üle 10 000 aasta vanuste kivimite murenemisindeksid on siiski madalad, alla 50, sest Islandi kliima on külm ja niiske (Torp, 2013). See, et Réunioni proovides esineb juba noorte kivimite puhul väike erinevus murenemisindeksites, viitab sellele, et soe kliima võimedab murenemist märgatavalt. Üldises plaanis on aga murenemine peaaegu minimaalne. Kuigi saare kliima ja keskkond on murenemist soodustav, on aeg olnud liiga lühike, et murenemise protsess saaks märkimisväärselt areneda. Edasistes uuringutes peaks kaasama ka vanemaid proove, et saaks edukamalt hinnata murenemise muutust ajas.

7. Kokkuvõte

Käesolevas töös uuriti Réunioni saare aktiivse vulkaani Piton de la Fournaise'i basaltide mineraloogilist, keemilist ja petrograafilist koostist ning murenemist. Töö teostamiseks viidi saarelt kogutud basaldi proovidega läbi röntgenfluorestsents (XRF), röntgendifraktsiooni (XRD) ja skaneeriva elektronmikroskoobi (SEM) analüüsid. Analüüside põhjal hinnati proovide koostist, võrreldi seda nii eelnevate uuringutega kui proove omavahel ning tuvastati varajase murenemise ilmingud.

Uuringu tulemuseks oli esmalt kahte tüüpi koostisega proovide esinemine: oliviini-rikkad proovid ning pürokseeni-plagioklassi-rikkad proovid. Selline erinevus ilmnis kõigi kasutatud analüüsimeetodite puhul ning joonistus selgelt välja diskriminantdiagrammidel. Piton de la Fournaise'i basaldid on koostiselt klassikalised ookeani saare toleiidid. Nii murenemisindeksid kui varajaste murenemistunnuste puudumine näitas, et murenemise protsess basaltides pole veel tuvastatav. Kuna uurimuses kasutatud proovid olid geoloogilises mõistes väga noored, oli selline tulemus ootuspärane, vaatamata soosivale keskkonnale. Kuna kõik uuritud proovide vanused olid vaid sadades aastates, siis oleks tulevikus kasulik uurida saare vanimaid laavavoole, sest kuuma täpiga seotud saartele on iseloomulik koostise muutumine ajas. Vanemate ja nooremate proovide võrdlemine võimaldab hinnata murenemise ulatust ning määrata ligikaudse vanusepiiri, millest alates muutub murenemine tuvastatavaks.

Weathering of Réunion basalts

Brite Gedi Pilvik

Summary

Silicate weathering represents a major long-term sink for atmospheric CO₂ and plays a fundamental role in regulating Earth's climate. Basalts weather particularly rapidly among silicate rocks, and despite their significance for global carbon cycling, key aspects of basalt weathering remain poorly understood.

This bachelor's thesis analyzed the chemical and mineralogical composition of basalts from the island of Réunion and investigated the extent of weathering in them. The analyses were conducted on 5 samples ranging in age from about 22 to 500 years. The analytical methods used were x-ray fluorescence (XRF), x-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). Two weathering indices were calculated: the chemical index of alteration (CIA) and the plagioclase index of alteration (PIA). The results were illustrated using three classification diagrams and compared with earlier research.

The research found that the composition of Réunion basalts is a typical tholeiitic ocean island basalt. All three analyses yielded the same result, highlighting two types of samples: olivine-rich and plagioclase-pyroxene-rich. The calculated weathering indices were low for all 5 samples, indicating that the basalts are all considered fresh. Although the environmental conditions on Réunion are conducive to weathering, the young age of the sampled flows proved insufficient for measurable weathering signatures to develop. Future studies should focus on older lava flows from Réunion to better constrain the extent of weathering and to evaluate whether the island's environment is as favourable for weathering as suggested.

Tänuavaldused

Töö autor soovib tänada oma juhendajaid Timmu Kreitsmanni ja Peeter Somelari, kes aitasid kaasa töö valmimisele ja jagasid nõuandeid. Samuti soovib autor tänada Marian Külaviiru ja Jaan Aruvälja abistamisel XRF mõõtmisega ning Sigrid Soomerit proovide eest.

Kasutatud kirjandus

- Albarède, F., Luais, B., Fitton, G., Semet, M., Kaminski, E., Upton, B. G. J., & Lery, P. B. (1997). *The Geochemical Regimes of Piton de la Fournaise Volcano (Re'union) During the Last 530 000 Years*. 38(2).
- Ashwal, L. D., Wiedenbeck, M., & Torsvik, T. H. (2017). Archaean zircons in Miocene oceanic hotspot rocks establish ancient continental crust beneath Mauritius. *Nature Communications*, 8(1), 14086. <https://doi.org/10.1038/ncomms14086>
- Bosch, D., Blichert-Toft, J., Moynier, F., Nelson, B. K., Telouk, P., Gillot, P.-Y., & Albarède, F. (2008). Pb, Hf and Nd isotope compositions of the two Réunion volcanoes (Indian Ocean): A tale of two small-scale mantle “blobs”? *Earth and Planetary Science Letters*, 265(3–4), 748–765. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.11.018>
- Chen, C., Gayer, E., Gaillardet, J., Derry, L. A., Louvat, P., Bouchez, J., Jin, Z., & Yokochi, R. (2025). Enhanced weathering by multiscale destabilization of volcanic islands. *Earth and Planetary Science Letters*, 671, 119649. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2025.119649>
- Davies, G. F. (2011). *Mantle Convection for Geologists* (1k 73–75). Cambridge University Press. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.utlib.ut.ee/lib/tartu-ebooks/detail.action?docID=647403>
- Dessert, C., Dupré, B., Gaillardet, J., François, L. M., & Allègre, C. J. (2003). Basalt weathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle. *Chemical Geology*, 202(3–4), 257–273. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2002.10.001>
- Di Muro, A., Metrich, N., Vergani, D., Rosi, M., Armienti, P., Fougeroux, T., Deloule, E., Arienzo, I., & Civetta, L. (2014). The Shallow Plumbing System of Piton de la Fournaise Volcano

- (La Reunion Island, Indian Ocean) Revealed by the Major 2007 Caldera-Forming Eruption. *Journal of Petrology*, 55(7), 1287–1315. <https://doi.org/10.1093/petrology/egu025>
- Dosseto, A., Hannan-Joyner, A., Raines, E., Gayer, E., & Michon, L. (2022). Geochemical evolution of soils on Reunion Island. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 318, 263–278. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.12.006>
- Duncan, R. A. (1990). 1. *THE VOLCANIC RECORD OF THE REUNION HOTSPOT*. 115. Encyclopedia Britannica. (2026). Réunion. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/place/Reunion> Vaadatud 22.05.2026
- Fedo, C. M., Wayne Nesbitt, H., & Young, G. M. (1995). Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 23(10), 921. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023%3C0921:UTEOPM%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023%3C0921:UTEOPM%3E2.3.CO;2)
- Francis, P., & Oppenheimer, C. (2004). *Volcanoes* (2nd ed). Oxford University Press.
- Gaba, E. (2007). *Topographic map of the Piton de la Fournaise shield volcano on the Réunion island*. [Map].
- Lanzafame, G., Bolam, A., Di Muro, A., Portale, S., Donato, S., Besson, P., & Ferlito, C. (2023). Geochemistry and Petrology of the Bellecombe Lava Sequence, Enclos Fouqué Caldera, Piton de la Fournaise Volcano (Réunion, France). *Minerals*, 13(6), 751. <https://doi.org/10.3390/min13060751>
- Maher, K. (2010). The dependence of chemical weathering rates on fluid residence time. *Earth and Planetary Science Letters*, 294(1–2), 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.03.010>

- Michon, L., Lénat, J.-F., Bachèlery, P., & Di Muro, A. (2016). Geology and Morphostructural Evolution of Piton de la Fournaise. P. Bachelery, J.-F. Lenat, A. Di Muro, & L. Michon (Toim), *Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean* (lk 45–59). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31395-0_4
- Nauret, F., Famin, V., Vlastélic, I., & Gannoun, A. (2019). A trace of recycled continental crust in the Réunion hotspot. *Chemical Geology*, 524, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.06.009>
- Nesbitt, H. W., & Young, G. M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299(5885), 715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
- Rad, S., Rivé, K., & Allègre, C. J. (2011). Weathering regime associated with subsurface circulation on volcanic islands. *Aquatic Geochemistry*, 17(3), 221–241. <https://doi.org/10.1007/s10498-011-9122-7>
- Sheldon, N. D., & Tabor, N. J. (2009). Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth-Science Reviews*, 95(1–2), 1–52. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.03.004>
- Siebert, L., Simkin, T., & Kimberly, P. (2011). *Volcanoes of the World: Third Edition* (lk 67). University of California Press. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.utlib.ut.ee/lib/tartu-ebooks/detail.action?docID=870018>
- Torp, R. (2013). *KEEMILISE MURENEMISE ILMINGUD ISLANDI ERIVANUSELISTES BASALTSETES LAAVAVOOLUDES*.
- United States Geological Survey. (2022). *Reference Material Information Sheet: BHVO-2 (Hawaiian Volcano Observatory Basalt)*.

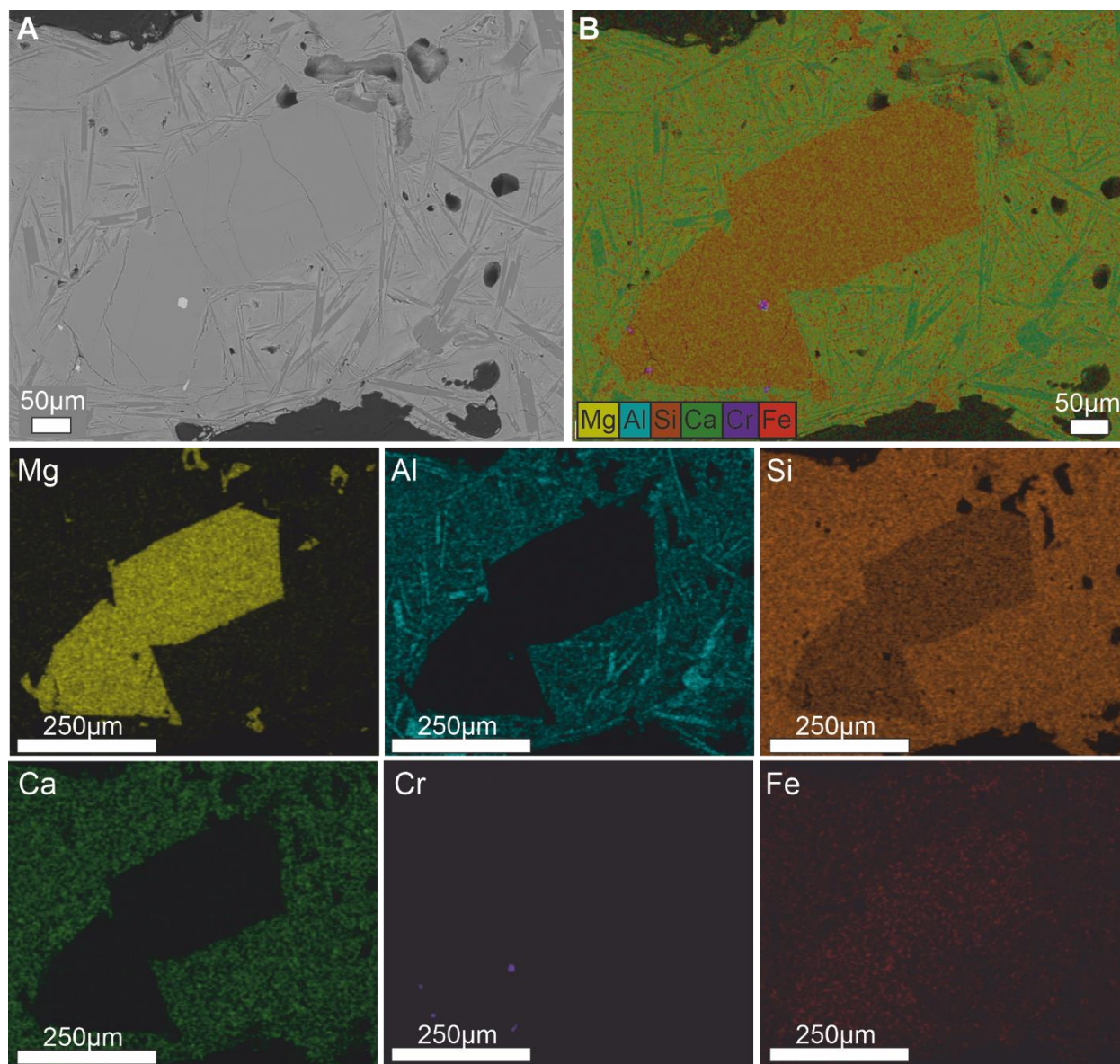
- Upton, B. G. J., & Wadsworth, W. J. (1972). *Aspects of magmatic evolution on Reunion Island*. 105–130.
- Villeneuve, N., Bachèlery, P., & Kemp, J. (2014). La Réunion Island: A Typical Example of a Basaltic Shield Volcano with Rapid Evolution. M. Fort & M.-F. André (Toim), *Landscapes and Landforms of France* (lk 261–270). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7022-5_25
- Vlastélic, I., Di Muro, A., Bachèlery, P., Gurioli, L., Auclair, D., & Gannoun, A. (2018). Control of source fertility on the eruptive activity of Piton de la Fournaise volcano, La Réunion. *Scientific Reports*, 8(1), 14478. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32809-0>
- West, A., Galy, A., & Bickle, M. (2005). Tectonic and climatic controls on silicate weathering. *Earth and Planetary Science Letters*, 235(1–2), 211–228. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.03.020>
- World Meteorological Organization. (s.a.). *Global: Greatest 24-Hour Rainfall*. World Meteorological Organization. https://wmo.int/asu-map?original_nid=21824&map=Rain_081&book=21486 Vaadatud: 23.05.2026

LISAD

Lisa 1. XRF-iga mõõdetud põhioksiidide sisaldused kolmeteistkümnes basaldiproovis Lanzafame *et al.*, (2023) uurimuses.

	BC1	BC2	BC3	BC4	BC5	BC6	BC7	BC8	BC9	BC10	BC11	BC12	BCD
Major oxides (wt.%)													
SiO ₂	47.06	46.57	47.36	47.65	47.07	44.96	44.89	45.80	46.53	45.74	46.29	43.96	46.59
TiO ₂	2.80	2.66	2.76	3.00	3.00	2.58	2.53	2.72	3.26	2.69	2.80	2.87	3.01
Al ₂ O ₃	13.80	14.14	13.81	15.38	14.92	12.94	12.29	13.63	13.43	14.21	13.97	14.51	13.80
FeO	12.16	12.96	12.59	11.37	11.33	12.54	12.69	12.51	13.82	12.32	12.74	13.02	12.58
MgO	6.19	7.12	6.14	4.98	4.79	9.50	10.20	8.48	5.05	6.67	6.72	6.66	5.82
MnO	0.17	0.18	0.18	0.16	0.16	0.18	0.18	0.18	0.19	0.17	0.18	0.18	0.18
CaO	10.68	10.65	10.30	9.45	9.38	8.96	8.73	9.31	9.27	10.73	10.92	10.36	10.13
Na ₂ O	2.33	2.26	2.14	3.21	3.19	2.01	2.05	2.08	2.68	2.30	2.09	1.73	2.58
K ₂ O	0.67	0.70	0.64	1.14	1.13	0.71	0.69	0.78	0.82	0.71	0.68	0.62	0.71
P ₂ O ₅	0.32	0.32	0.33	0.47	0.46	0.34	0.35	0.36	0.40	0.31	0.32	0.31	0.34
L.O.I.	0.61	0.66	0.54	0.21	0.11	0.81	0.97	0.94	0.51	0.41	0.81	1.62	0.04
Total	96.79	98.20	96.79	97.01	95.53	95.53	95.57	96.78	95.97	96.26	97.51	95.85	95.77
Mg#	50.22	52.12	49.14	46.45	45.60	60.00	61.42	57.30	42.00	51.73	51.11	50.32	47.84
A.I.	-0.75	-0.40	-1.09	0.55	0.54	-0.46	-0.43	-0.47	-0.15	-0.28	-0.62	-0.55	-0.33

Lisa 2. SEM analüüsi tulemused proovist 03. Tagasihajunud elektronide kujutis (A) ja elementide kaart (B). Tegu on plagioklass-pürokseeni-rikka prooviga.



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Brite Gedi Pilvik,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose
Réunioni basaltide murenemine,

mille juhendajad on Timmu Kreitsmann ja Peeter Somelar,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni
autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu
Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i
litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada
ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni
autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Brite Gedi Pilvik

25.05.2026