

Mogućnosti uključivanja mrežno dostupnih baza petroloških podataka iz planetarnih znanosti u visokoškolsku nastavu geologije

Maljković, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:839142>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Ana Maljković

**MOGUĆNOSTI UKLJUČIVANJA MREŽNO
DOSTUPNIH BAZA PETROLOŠKIH
PODATAKA IZ PLANETARNIH ZNANOSTI U
VISOKOŠKOLSKU NASTAVU GEOLOGIJE**

Seminar III
Preddiplomski studij geologije

Mentor:
doc. dr. sc. Zorica Petrincec

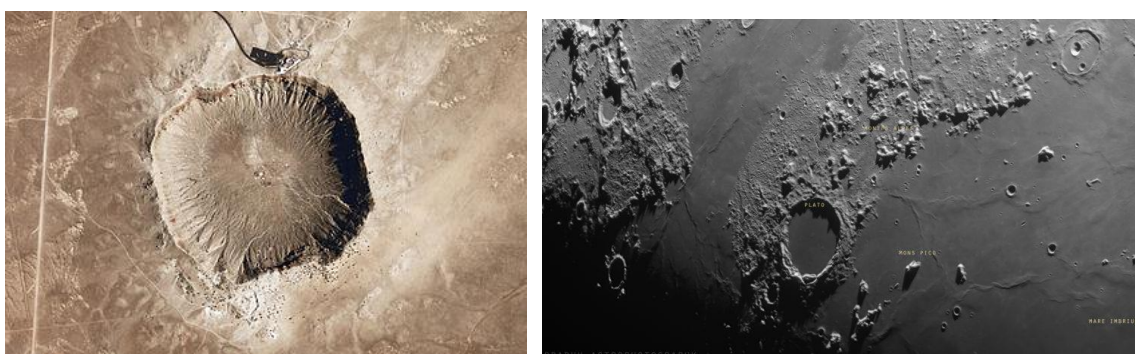
Zagreb, 2020

Sadržaj

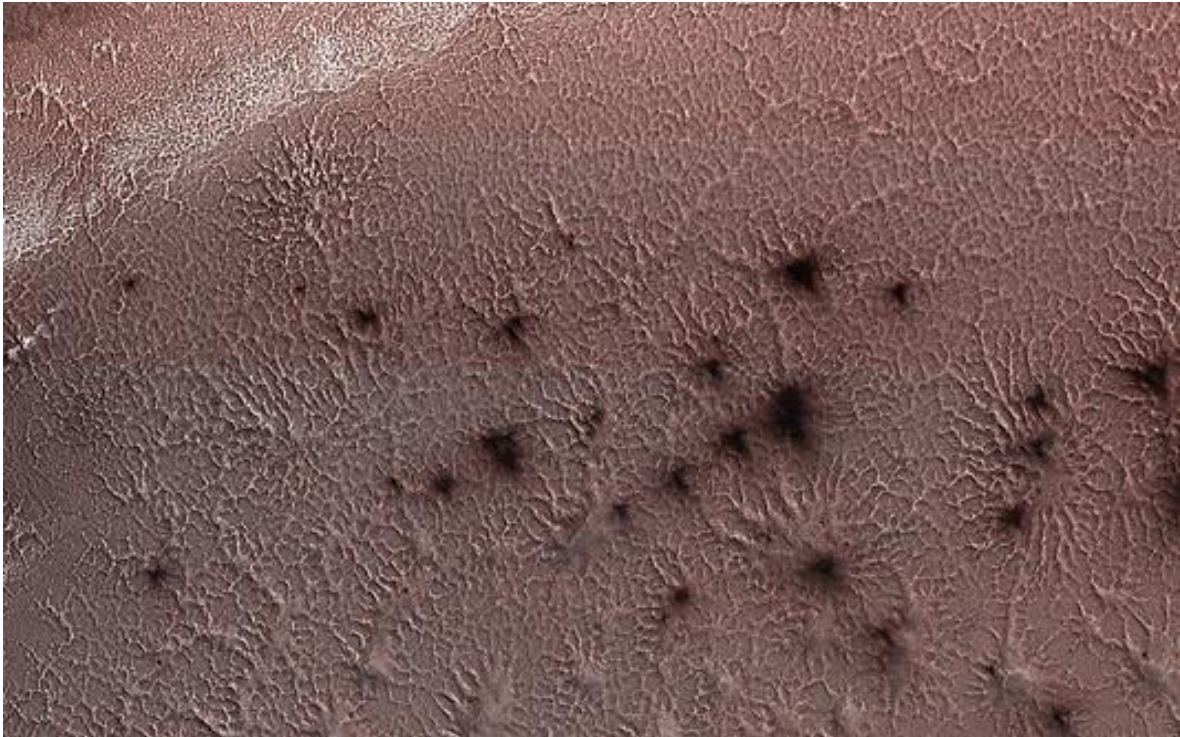
1.	Uvod.....	1
2.	Dosadašnje spoznaje o geološkoj prošlosti Mjeseca	3
2.1.	Teorijska osnova.....	3
3.	Dostupne baze podataka	8
4.	Primjer mogućeg korištenja materijala iz petroloških baza	9
4.1.	Uzorak 78235 plutonska stijena – norit sa žilom, „šok“ norit	9
4.2.	Uzorak 70017 – visoko-Ti bazalt	13
4.3.	Uzorak 70181 - zreli regolit.....	15
4.4.	Uzorak 72275 – feldspatska regolitna breča	17
5.	Rasprava.....	19
6.	Zaključak	21
7.	Literatura	22

1. Uvod

Danas postoji nekoliko mrežno dostupnih izvora s materijalima prikupljenim tijekom različitih tipova istraživanja u planetarnoj geologiji. Sve veća pažnja se posvećuje toj tematici iz mnogo korisnih razloga. Važno je razumjeti prirodne procese koji oblikuju naš planet Zemlju, ali i sve ostale objekte u Sunčevom sustavu. Glavni geološki procesi kao što su vulkanizam, tektonika, erozija i impakti su oblikovali površinu Zemlje te i dalje kontinuirano utječu na njezinu dinamičnu promjenu brišući većinu njezine povijesti, ali neki dokazi evolucije planeta očuvani su na površinama drugih planetarnih tijela. Dok je Zemlja vrlo kompleksan i turbulentan sustav, drugi planeti mogu predstavljati neko stanje evolucije tog sustava koje je ostalo zarobljeno u razvoju ili je pak nastavilo drugačijim putem. Cilj je pokušati prepoznati sile na svim planetima i objasniti zašto se manifestiraju na načine koji se čine poznatima kao na našem planetu i na drugim mjestima gdje možda nemaju sličnosti da bi se mogli usporediti, te dobiti uvid u geološku situaciju na planetarnoj razini (Greeley, et al., 1998). Primjeri sličnih pojava su meteorski krateri na Mjesecu i Zemlji i u tom slučaju Mjesec služi kao jedan analogni sustav kojim se znanstvenici koriste kako bi ga usporedili s kraterima koji su nastali na Zemlji ili su bili prisutni prije nego se površina Zemlje izmijenila (slike 1 i 2). Značajno je spoznati i neusporedive pojave kao na primjeru Marsa. Tijekom zime na južnom polu Marsa, prikazano područje je prekriveno ledenom kapom ugljikovog dioksida. Početkom proljeća i povratkom Sunca, stvaraju se forme oblika pauka u krajoliku, tzv. „araneiformni teren“, kad se led ispod površine zagrije i oslobodi (slika 3). Ovakav aktivan sezonski proces nije viđen na Zemlji. (www.nasa.gov/image-feature/jpl/jamming-with-the-spiders-from-mars)



Slika 1 (lijevo) : Najbolje očuvan Barringer krater u Arizoni (www.en.wikipedia.org/wiki/Meteor_Crater); Slika 2 (desno): Krater Platon na Mjesecu (www.earthsky.org/space/moons-craters-earths-history-meteorite-bombardment)

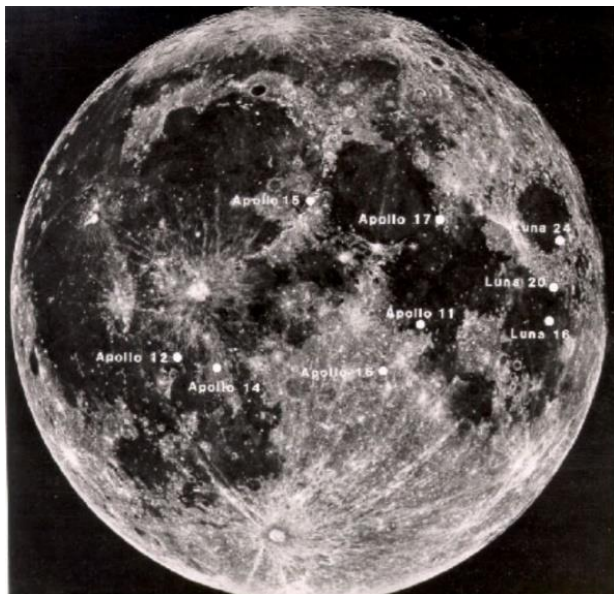


*Slika 3: Prikaz južnog pola Marsa s karakterističnim reljefnim formama „pauka“
(www.nasa.gov/image-feature/jpl/jamming-with-the-spiders-from-mars)*

U otkrivanju raznih pojava, morfologije terena planetarnih tijela, te njihove povijesti, mikroskop je jedan od najkorisnijih alata geolozima stoga je fokus ovog preglednog rada istraživanje NASA-inih setova podataka s fotografijama uzoraka i njihovih mikroskopskih preparata. Iako su materijali koji su doneseni na Zemlju malobrojni i dragocjeni, oni su danas u velikoj mjeri digitalizirani te ih je moguće pregledati čak i pomoću virtualnog mikroskopa uz primjenu priloženog vodiča za analizu. Cilj rada je pregledati baze petroloških podataka na primjeru uzoraka s Mjeseca te definirati koliko su ti materijali primjenjivi za edukativne svrhe u visokoškolskom obrazovanju i u kojem obliku.

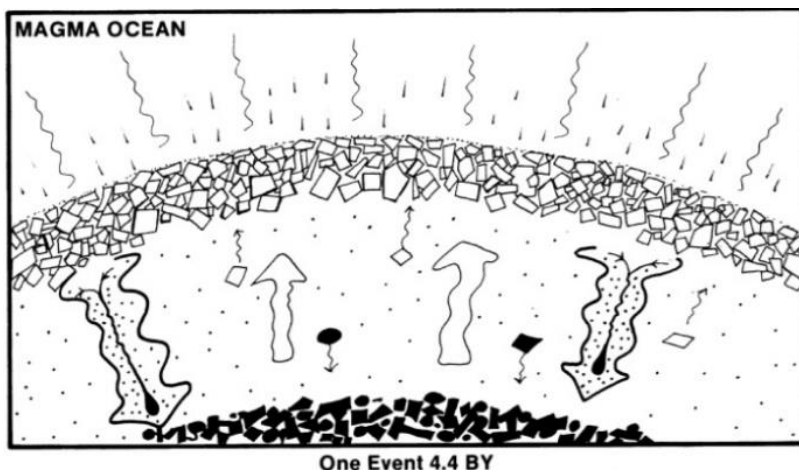
2. Dosadašnje spoznaje o geološkoj prošlosti Mjeseca

2.1. Teorijska osnova



Slika 4: Prikaz Mjesečeve površine sa svijetlim područjima visoravni i tamnim oceanima (Meyer, 2003)

Ovdje donosim kratki pregled razvoja Mjeseca utemeljen na djelima „*Planetary geoscience*“ (McSween, 2019), najnovijem objavljenom priručniku koji predstavlja relevantnu i vrlo aktualnu referencu upravo za ovakav tip rada, i „*The Lunar Petrographic Educational Thin Section Set Study Guide*“ (Meyer, 2003), priloženi vodič iz NASA-inog seta uzoraka. Mjesec se sastoji od starije kore bogate feldspatima koja je plutala na ultramafičnom plaštu iz kojeg su se kasnije razvili mlađi bazaltni magmatski oceani ispunjavajući impaktne bazene. Eruptirani materijal iz najvećih impaktnih bazena je osnova za utvrđivanje kronostratigrafije. Mjesečeva površina se dijeli na dva različita područja: oceane magme i viša reljefna područja, visoravni s brojnim kraterima (slika 4). Cilj Apollo misija je bio istražiti sastav Mjeseca, njegovu unutrašnju strukturu i razvoj, te povijest Sunčevog sustava. Danas je poznato da je Mjesec imao sličan razvojni tijek kao Zemlja te da ima diferenciranu unutrašnju građu koju čine debela kora, litosfera, poluplastična astenosfera i mala jezgra čije postojanje još nije potvrđeno.



Slika 5: Model prikazuje tonjenje mafičnih minerala tijekom formiranja kore (Meyer, 2003)

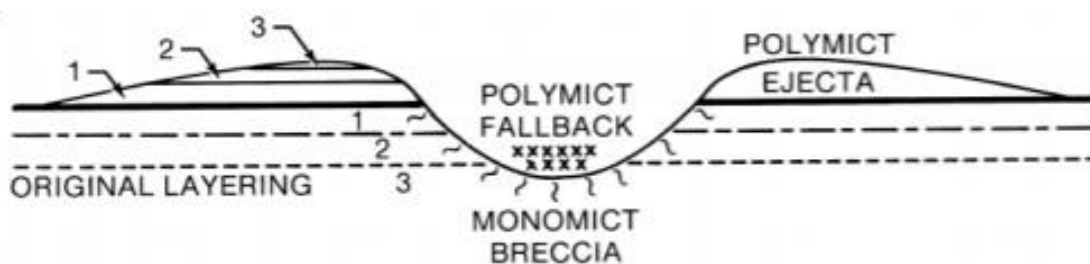
Radiometrijskim datiranjem Mjesečevih uzoraka utvrđeno je da se starost stijena kreće od 3,2 do 4,6 milijardi godina te da su one najmlađe ekvivalent najstarijim stijenama sa Zemlje. Prema tome je na Mjesečevoj, relativno stabilnoj površini, za razliku od dinamične, promjenjive situacije na Zemlji, sačuvan veliki dio prošlosti. Starost visoravni je 3,9 do 4 milijarde godina i sadrže obilje anortozitnog materijala bez mafične komponente iz čega proizlazi interpretacija da je Mjesečeva originalna kora anortozitna. Tijekom hlađenja mafični minerali tonu zbog svoje gustoće, a plagioklasi kristaliziraju i plutaju uz površinu (slika 5). Nakon formiranja krute kore slijedi događaj kataklizme kad je Mjesec (možda i drugi planeti) bio izložen periodu intenzivnog bombardiranja te su se otvorili ogromni impaktni bazeni koji su kasnije ispunjeni oceanima magme, od kojih najmlađi pokazuju starosti oko 3,8 milijardi godina. Oceani magme s bazaltnim vulkanizmom (Mjesečeva mora) su tamna, reljefno niska i s ponekim mlađim kraterima nastalim nakon njenog formiranja. Prednja strana Mjeseca, ona okrenuta prema Zemlji, ima nekoliko velikih bazena (Imbrium, Serenitatis, Crisium, Nectaris, Orientale...) naknadno ispunjenih bazaltnim magmama. U početku se pretpostavljalo da su bitno mlađeg postanka od navedenih vrijednosti zbog malog broja kratera, međutim, pokazalo se da radi se o staroj površini koja kao takva predstavlja nagli završetak kataklizme.

Impakti su imali značajnu ulogu u oblikovanju Mjesečeve površine. Pri nastanku kratera, izbačeni materijal se radijalno distribuirao od ruba kratera na velike udaljenosti, što je rezultiralo pojavom „egzotičnih“ materijala na lokacijama gdje ih izvorno nema. Uzorkovanja tih područja bila su značajna za otkrivanje ne samo površinskih karakteristika, već i unutrašnje građe Mjeseca u mineraloškom odnosno petrološkom smislu. Površina je također izložena mikrometeoritima (uzrokuju sloj „patine“ na stijenama), Sunčevom vjetru i kozmičkoj radijaciji.

Postavlja se pitanje zašto je Mjesec, osim što je najbliži Zemlji, toliko pogodan za geološka istraživanja. Odgovor leži u činjenici da ga karakterizira relativno jednostavan mineralni sastav koji čine plagioklasi, pirokseni, olivini i ilmenit. Stijene su formirane u suhom i reduktivnom okolišu, bez vodenih minerala. Većina plagioklasa je čisti anortit. U bazaltima magmatskih oceana ostao je zapis taljevina koje su bile bogate željezom i silicijem u mezostazi. Istraživanjima su otkrivena tri nova minerala: armalkolit (preko 70% TiO_2), trankvilit, piroksferoit.

Osim magmatskih procesa koji su ostali zapisani u prethodno spomenutim stijenama, istraživanjem Mjesečevih materijala uočeno je da se često javlja i specifični tip metamorfizma. Naime, pri visokim temperaturama i tlakovima se javlja „šok“ metamorfizam koji je asociran sa zagrijavanjem, taljenjem i vaporiziranjem stijene. Prožima stijene alterirajući minerale te kao posljedicu ima karakterističan mozaični izgled silikatnih minerala i nepravilno undulozno potamnjenje. Nastaju deformacijski lanci kristala lamelnog oblika čija se orijentacija razlikuje od kristala domaćina. Pri ekstremnim tlakovima mineral postaje optički izotropan i javlja se kao dijaplektično staklo.

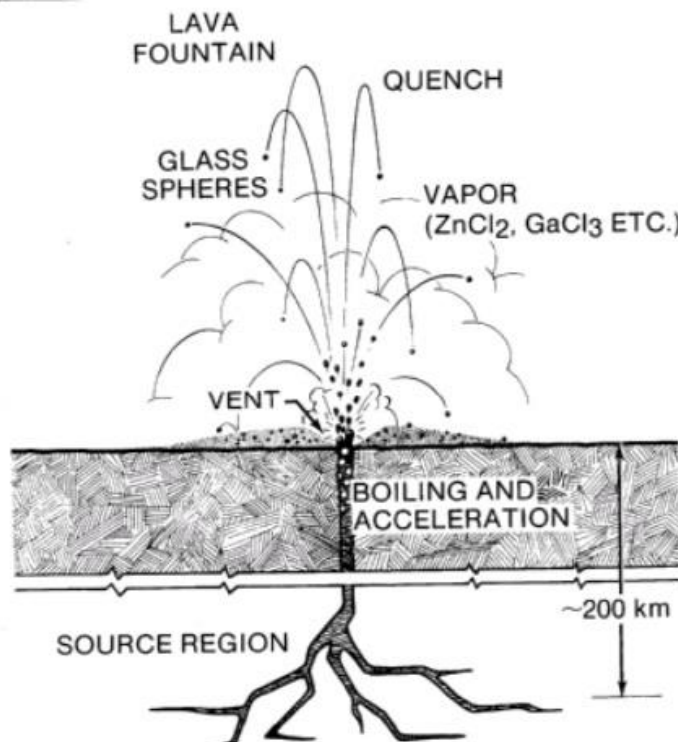
Jedan od najčešćih tipova stijena na Mjesečevoj površini ipak predstavljaju breče koje uklapaju klaste fragmenata minerala i stijena s magmatskim, metamorfnim i breča-strukturama te staklo ili djelomično kristalizirane čestice, a mnoge uklapaju i klaste samih breča što daje tzv. „breča u breči“ strukturu. Ispod dna velikog impaktnog kratera „šok“ valovi drobe materijal stvarajući monomiktne breče. Dimiktne nastaju kad se žile ispune impaktnom taljevinom. Fragmentirani materijal s dna kratera je erupcijom izbačen izvan kratera i ta mješavina tvori polimiktne breče (slika 6).



Slika 6: Prikaz kratera s područjima nastanka breča (Meyera, 2003)

Na mjesečevoj se površini mogu susresti i staklene kapljice, koje su mogućeg piroklastičnog porijekla i ukazuju na ekstremne slučajeve vezikulacije gdje se mali trouglasti oblici između vezikula sakupljaju zbog površinske napetosti u sferi. Nema aerodinamičnog

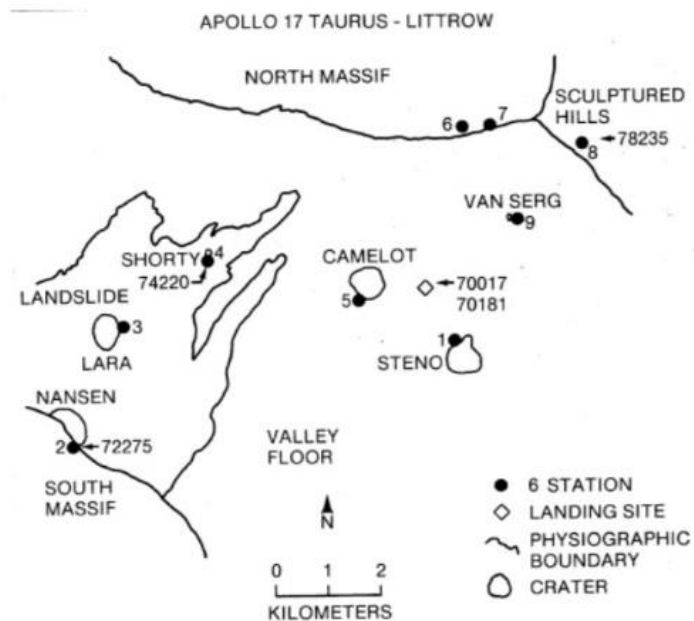
otpora pa kapljice padaju na površinu kao zamrznuto staklo (slika 7). Prekrivene su kondenziranim volatilima plina koji ih je doveo do površine – plin nije identificiran. Narančasto tlo 74220 je jedini obojani materijal pronađen na površini i njegova glavna komponenta, narančasto staklo, vjerojatno predstavlja primitivnu taljevinu koja potječe iz duboke unutrašnjosti nastalu parcijalnim taljenjem (s malo ili bez asimiliranih materijala kore tijekom erupcije).



Slika 7: Prikaz „lava fontane“ tijekom koje u erupciji nastaju staklene kapljice (Meyer, 2003)

Posljednja misija Apolla, Apollo 17 istraživala je područje Taurus-Littrow doline (slika 8) koja služi kao dobar model za proučavanje s izabranim najreprezentativnijim uzorcima iz Apollo zbirke, pa će upravo oni u nastavku biti detaljnije obrađeni. Dolina je prekrivena bazaltima magmi Mjesečevih mora. Klizište Južnog masiva (*South Massif*) je svijetlog pokrova na vrhu dolinskog materijala. Uzeti su uzorci blokova odronjenih sa Sjevernog masiva (*North Massif*). Određeni su bazalti s visokim udjelom titanija, starosti 3,55-3,85 milijardi godina. Eksperimentalna istraživanja su pokazala da su nastali pri manjim dubinama (150 km) iz piroksensko-olivinsko-ilmenitnih kumulata, dok su niskotitanijski nastajali pri većim dubinama. Plutonske stijene su krupnozrnate i poligonalnih tekstura; pronađene na svijetlim predjelima (visoravni) kao klasti u brečama ili sa zdrobljenim, pretaljenim teksturama. Noriti su se razvili u slojevitim intruzijama bazaltnih magmi nastalih parcijalnim taljenjem ispod kore. Za detaljni prikaz u slijedećem poglavlju odabrani su

mikroskopski preparati norit 78235, odronjeni materijal s visoravni 72275, uzorak s tamnog pokrova 70181 i bazalt s površine oceana magme 70017.



Slika 8: Taurus-Littrow dolina; istraživačka lokacija Apollo 17 misije (Meyer, 2003)

3. Dostupne baze podataka

Ured za vođenje astromaterijala (*The NASA Astromaterials Acquisition and Curation Office*), kao dio Uprave za proučavanje astromaterijala i istraživačkih znanosti (*Astromaterials Research and Exploration Science – ARES*), zaslužan je za organiziranje programa za različite razine obrazovanja koji uključuju pripremljenu kolekciju uzoraka s Mjeseca, asteroida, kometa i priručnike u mrežno dostupnom obliku i za fizičku posudbu (www.curator.jsc.nasa.gov/). U svrhu ovog rada analizirana su četiri uzorka iz Apollo 17 misije iz seta 12 mikroskopskih preparata Mjeseca, uz popratni vodič dr. Charles Meyera (www.curator.jsc.nasa.gov/education/lunar-thinsections.cfm) kao dodatni materijal i *The Open University Virtual Microscope* servisa, čiji je link za pristup ponuđen kod pojedinog uzorka.

Uzorci su također analizirani preko baze *The Virtual Microscope for Earth Sciences Project*, koja uz pregled mikroskopskog preparata sadrži kratak opis i fotografiju stijene. Ova baza podataka također ima organizirane bogate zbirke magmatskih, metamorfnih, sedimentnih stijena sa Zemlje te stijena s ostalih planetarnih tijela, zahvaljujući suradnji sveučilišta, muzeja i instituta. Neke od njih su *EUROPLANET Meteorite*, *Apollo Lunar Missions*, *Leeds*, *Martian Meteorites*, *Irish University Rocks*, *Trinity College Rocks*, *Charles Darwin's Rocks*, a slijedeće navedene omogućavaju pregled većine makroskopskih uzoraka u trodimenzionalnom prikazu uz njihove pripadne mikroskopske preparate: *Greenlad*, *UK Virtual Microscope*, *British & Irish Meteorites*, *Cornish Mineral Heritage*, *St Austell Granite*, *OU module rocks*.

Uz pomoć navedenih materijala i dostupnih "virtualnih" metoda u ovom seminaru je cilj provesti analizu uzoraka s Mjeseca samostalno, na temelju dosadašnjeg predznanja prikupljenog tijekom preddiplomskog studija geologije i utvrditi koje su prednosti i mane takvog pristupa proučavanja.

4. Primjer mogućeg korištenja materijala iz petroloških baza

4.1. Uzorak 78235 plutonska stijena – norit sa žilom, „šok“ norit

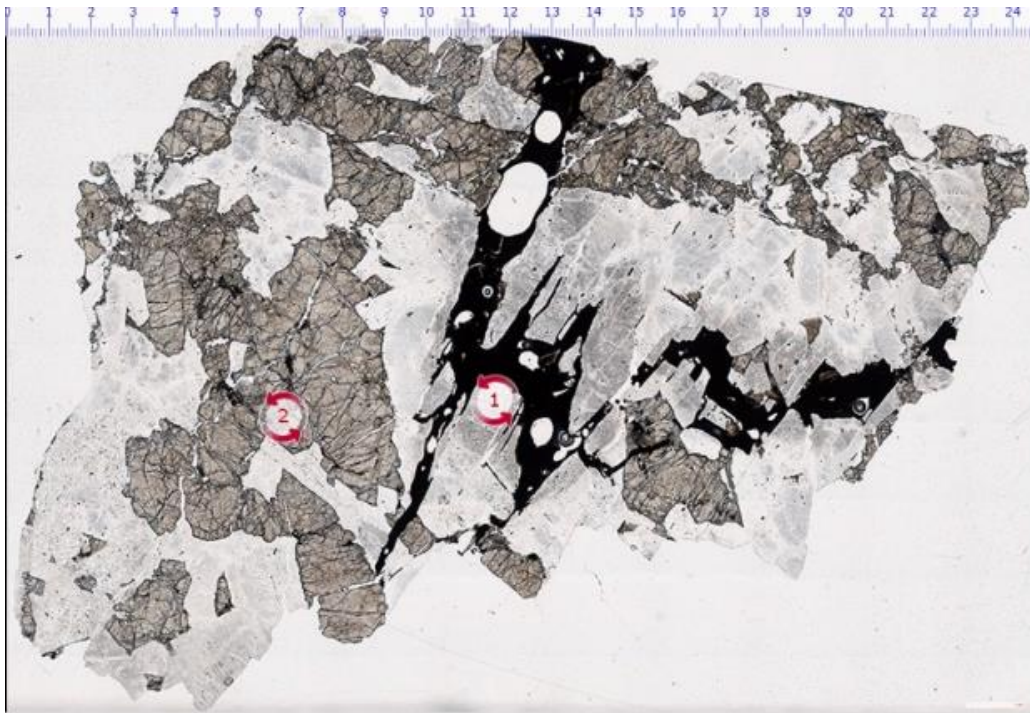


Slika 9: Makroskopski uzorak 78235

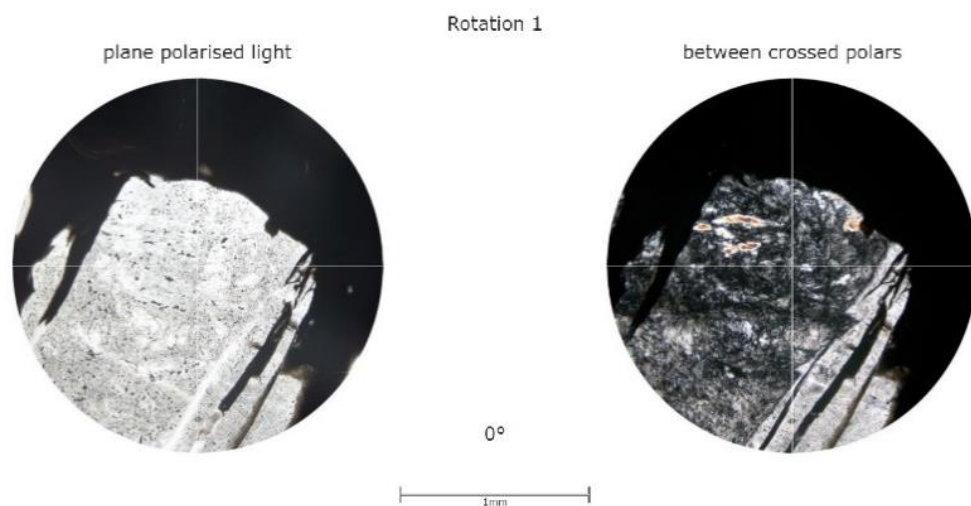
Snimke uzoraka preuzete su s mrežnih stranica www.virtualmicroscope.org/content/78235-37-shocked-norite i www.virtualmicroscope.org/content/78235-102-norite-melt-vein.

Makroskopska analiza

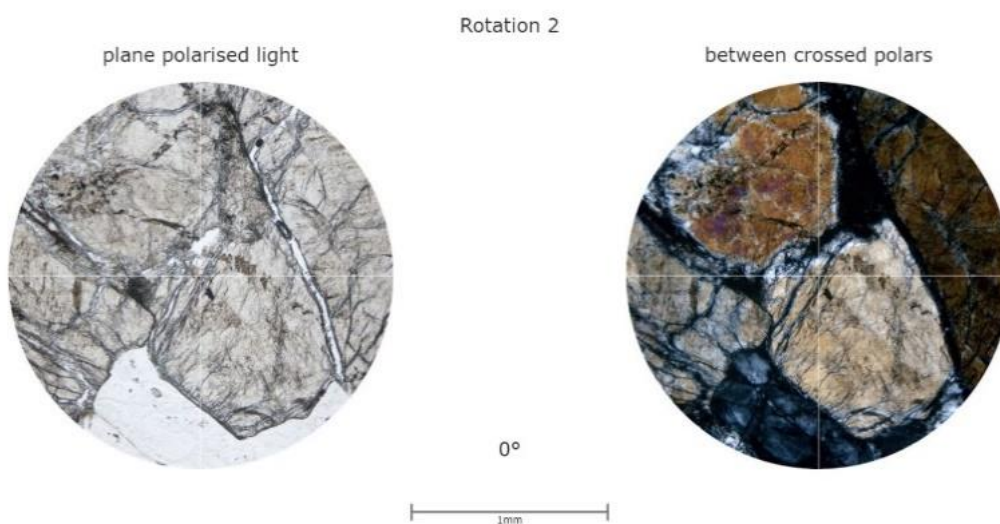
Stijena je makrokristaline, faneritske strukture i homogene teksture. Minerali su žute i bijelo-sive boje (negdje uočljiv staklast sjaj). Mjestimice je prekriveno tamnosmeđom korom i vidljive su pukotine.



Slika 10: Mikroskopski preparat 78235



Slika 11 : Uvećani dio preparata s prikazom plagioklasa i uklopcima klinopirosena, bez i s analizatorom



Slika 12: Zrna pirosena s pukotinama

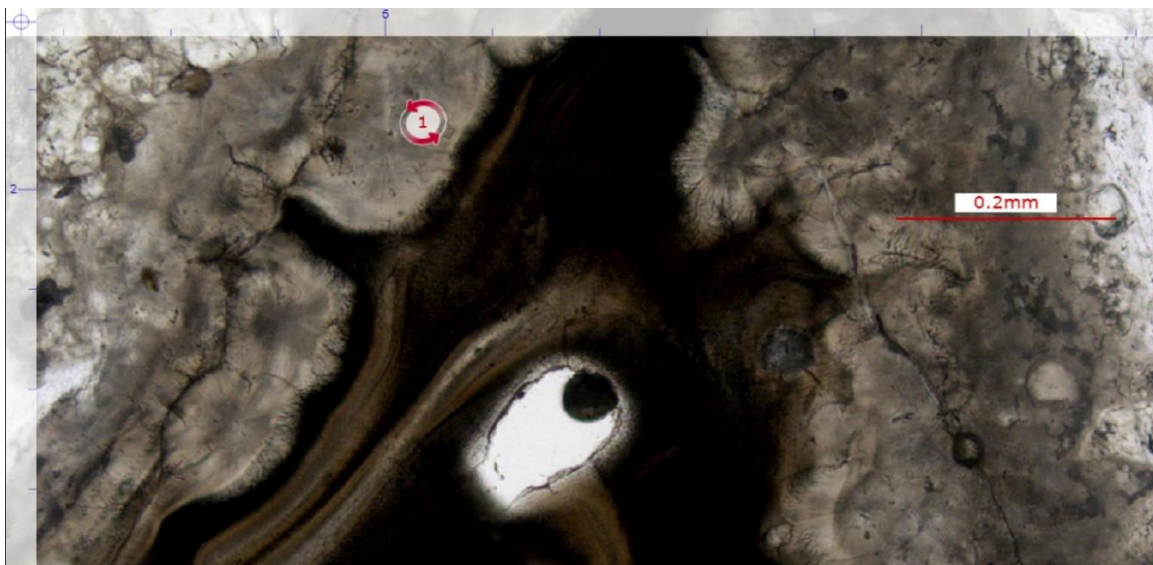
Mikroskopska analiza

Tekstura u mikroskopskom preparatu je homogena s ravnomjerno raspoređenim zrnima veličina oko 5 mm i više što je karakteristično za faneritsku stijenu. Meyer (2003) u svom vodiču navodi da je na nekim dijelovima prisutna kumulatna struktura i sekundarna reakcija devitrifikacija – kristalizacija stakla.

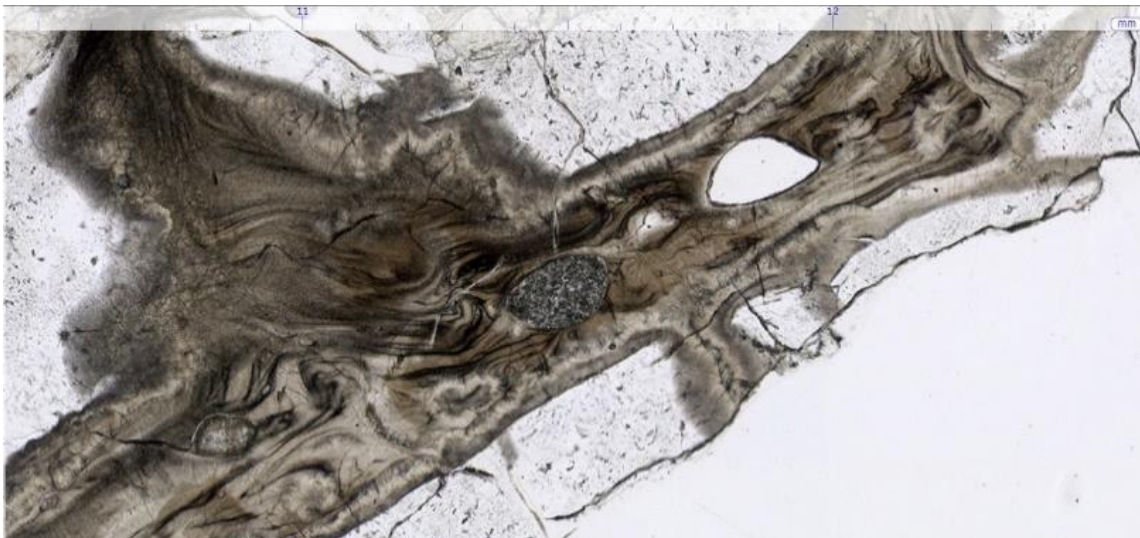
Mineralni sastav u volumnom udjelu čini 50% ortopirokseni, 50% plagioklasi. Uzorak je presječen pukotinom koja predstavlja žilu ispunjenu staklom; ponegdje se na rubovima navedenih minerala mogu uočiti sitni klinopiroseni koji interferiraju u živim bojama II. reda (crveno, ljubičasto do plavo). Ortopirokseni ($\text{MgSiO}_3\text{-FeSiO}_3$) bez analizatora u mikroskopskom preparatu su svijetlosmeđe boje. Kalavost je jasno do

slabo izražena te postoje i brojne pukotine na površini. Interferiraju u sivoj boji I. reda, žutoj i tamnosmeđoj boji (to ukazuje na porast Fe). Oblici su izduženi, četvrtasti – subhedralni, ali uglavnom anhedralni – tijekom kristalizacije je bilo sve manje prostora mineralima za rast pa se „naguravaju“ jedan k drugome. Plagioklasi ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) su bezbojni, s analizatorom interferiraju u bijeloj do sivoj boji I. reda. Zamućenost ukazuje da su zahvaćeni procesima izmjene. Potamnjenje se prelijeva (undulozno). Kod nekih se na rubu zrna nalaze inkluzije klinopiroksena interferencijskih boja II. reda (slika 11).

U prvom preparatu (slika 10) odnos između zrna minerala izgleda kao da su zbijena međusobno, a na nekim dijelovima su na kontaktima prisutne alteracije u kojima su vidljive male količine opakih minerala. Kristalizirano staklo u potpunosti opako i oštro presijeca na granicama s mineralima. U drugom preparatu (slike 13 i 14) na kontaktu kristaliziranog stakla i ostalih minerala vidljive „češljaste“ mikrostrukture kao da su minerali otopljeni. Također se mogu vidjeti linije tečenja taljevine (Vernon, 2004) ponegdje uskog razmaka i vijugavog pružanja u smjeru u kojem se rotiralo zrno i praznine od mjehurića ili zrna izduženih u smjeru tečenja (slika 14).



Slika 13: „Češljasti“ rubovi zrna u kontaktu s kristaliziranom taljevinom



Slika 14: Uvećanje drugog preparata s tokom kristalizirane taljevine i zrnima

Na temelju strukturnih i teksturnih karakteristika, mineralnom sastavu i IUGS klasifikaciji za gabroidne stijene, uzorak predstavlja intruzivnu stijenu norit koja je nakon kristalizacije vjerojatno naglo izbačena na površinu prilikom nekog eksplozivnog događaja zbog čega je prisutno staklo nastalo pri brzom hlađenju.

Interpretacija

Uzorak je dio bloka s Mjesečevih visoravni i unatoč velikom šoku kojeg je stijena pretrpjela, zadržale su se primarne mineralne strukture. Gore navedena opažanja je za potpuniju interpretaciju ipak potrebno dopuniti poznatim podacima koji su dobiveni izravnim istraživanjima na samom materijalu, a koji su izneseni u *Lunar Sample Compendium* (Meyer, 2010). Blok prekriven debelim smeđim staklenim pokrovom je indikacija da se potencijalno radi o piroklastičnoj bombi. Dio plagioklasa je u čvrstom stanju pod velikim pritiscima transformiran u staklo – maskelynite. Izmjerena je anortitna komponenta plagioklasa An_{93-95} . U intersticijskom prostoru između piroksena i plagioklasa (mezostaza) su trokutasti oblici karakteristični za kumulatnu strukturu gdje se nalaze silika, troilit, Fe-metal, kromit, baddeleyite. Originalna kristalizacija je stara 4.3 milijarde godina.

4.2. Uzorak 70017 – visoko-Ti bazalt

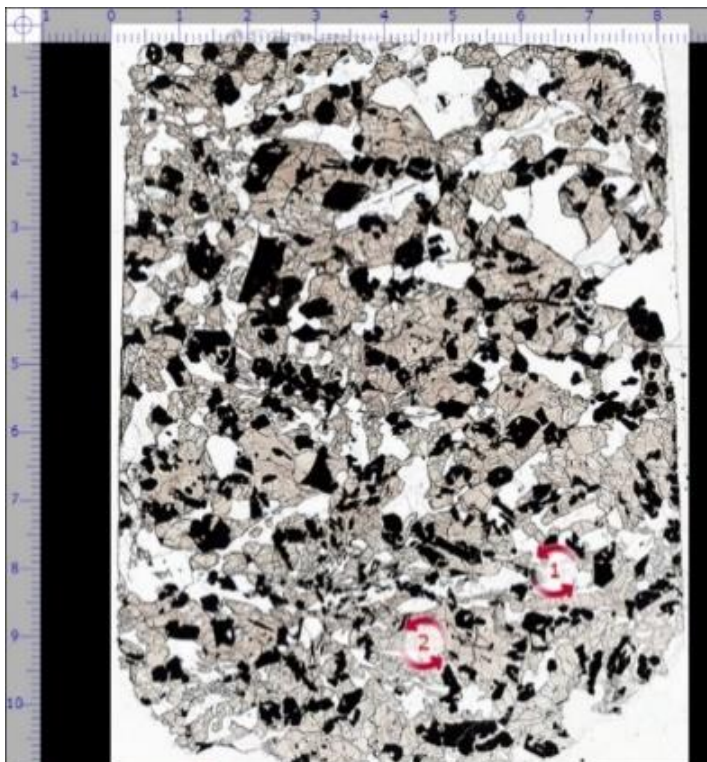


Slika 15: Makroskopski uzorak 70017

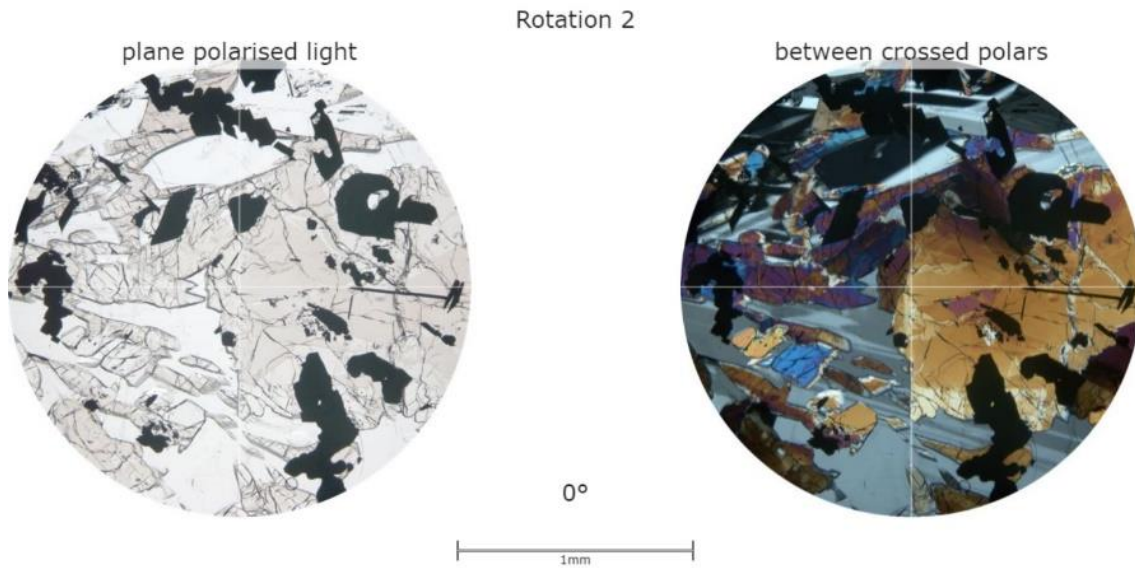
Izvor snimki: <https://www.virtualmicroscope.org/content/70017-119-high-titanium-basalt>

Makroskopska analiza

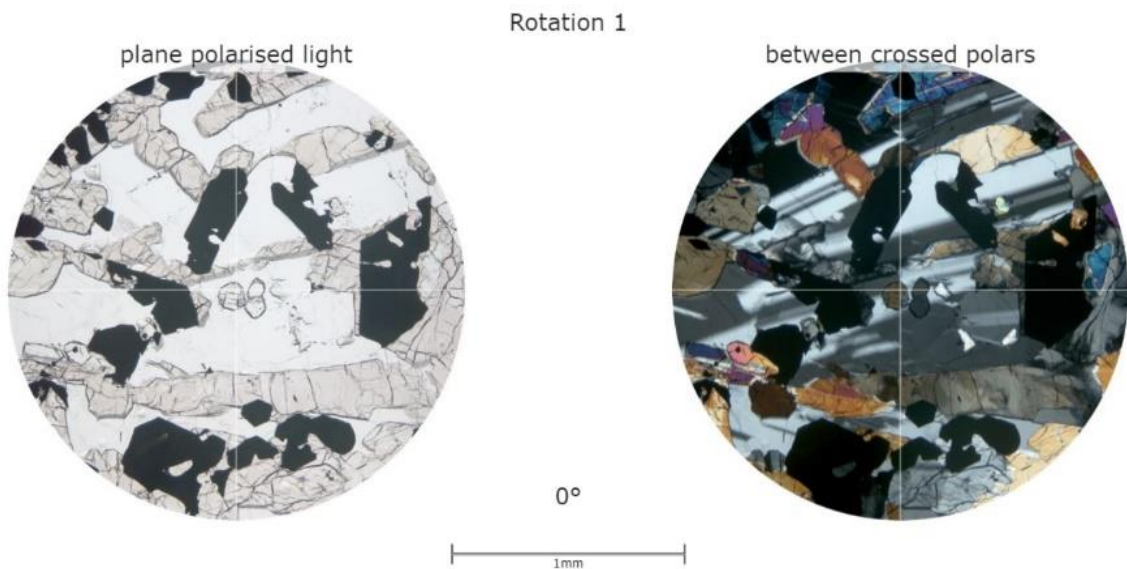
Tekstura stijene je homogena i zbog šupljina zaostalih od nekad prisutnih mjehurića plina je vezikularna. Struktura je holokristalina i na fotografiji je teško odrediti radi li se o sitnozrnatoj ili afanitskoj strukturi, ali svakako nisu uočljiva neka krupnija zrna i stijena je tamne boje.



Slika 16: Mikroskopski preparat 70017



Slika 17: Veliko zrno plagioklasa sa sitnim opakim mineralima i zrnima piroksena



Slika 18: Zrna plagioklasa, piroksena i opakih minerala

Mikroskopska analiza

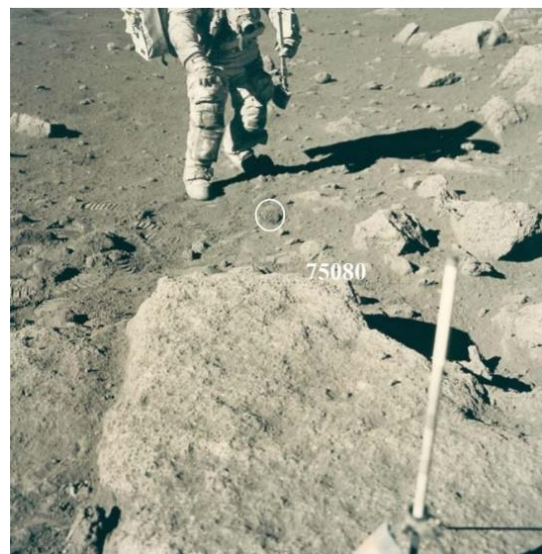
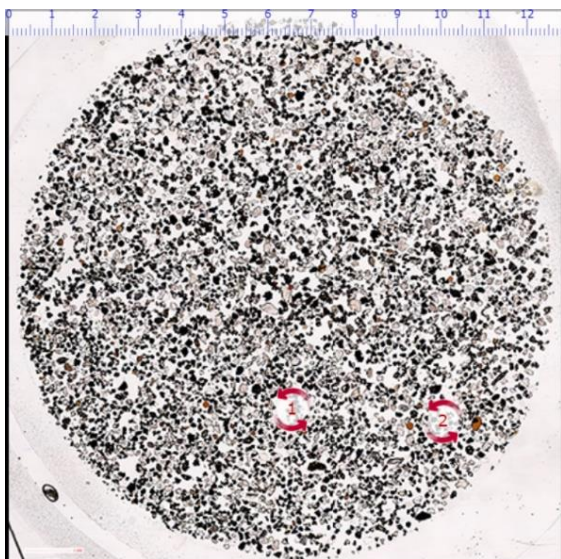
Mikroskopski preparat je intergranularne strukture s podjednakom veličinom zrna od kojih je više mafičnih minerala i djeluje kao „sol i papar“ struktura, te je homogene teksture. Mineralni sastav čine pirokseni, olivini ($\text{Fe}_2\text{SiO}_4\text{-Mg}_2\text{SiO}_4$) (Meyer je uočio olivine koji interferiraju u živim bojama II. reda, ali ih je teško razaznati u preparatu), plagioklasi i opaki minerali. S analizatorom vidljivi minerali koji interferiraju u bijeloj do žutoj boji I. reda i možda predstavljaju ortopiroksene. Klinopirokseni interferiraju u živim bojama II. reda, a potamnjenje se prelijeva kod nekih zrna koja posjeduju zonarnu građu ili je paralelno pukotinama kalavosti i vjerojatno se radi o augitu koji je

tipičan za efuzivne stijene. Postoje zrna podjednake veličina kao i izduženi, različito orijentirani plagioklasi te međusobnim odnosima upućuju na intergranularnu strukturu, a mjestimice su sitnija raštrkana zrna. Također prisutna poikilitiska struktura gdje plagioklasi uklapaju sitnija zrna piroksena i olivina.

Opaki minerali su subhedralnih do anhedralnih oblika, volumnog udjela 40%. Mogući su minerali kromit, ilmenit. „Ograđuju“ piroksene ili su smješteni u njihovim središtima.

Tekstura, struktura guste mreže plagioklasa i piroksena zonarne građe (koja upućuje da se radi o efuzivnoj stijeni) i prema sastavu i IUGS klasifikaciji određen je bazalt koji kristalizira pri visokim temperaturama.

4.3. Uzorak 70181 - zreli regolit



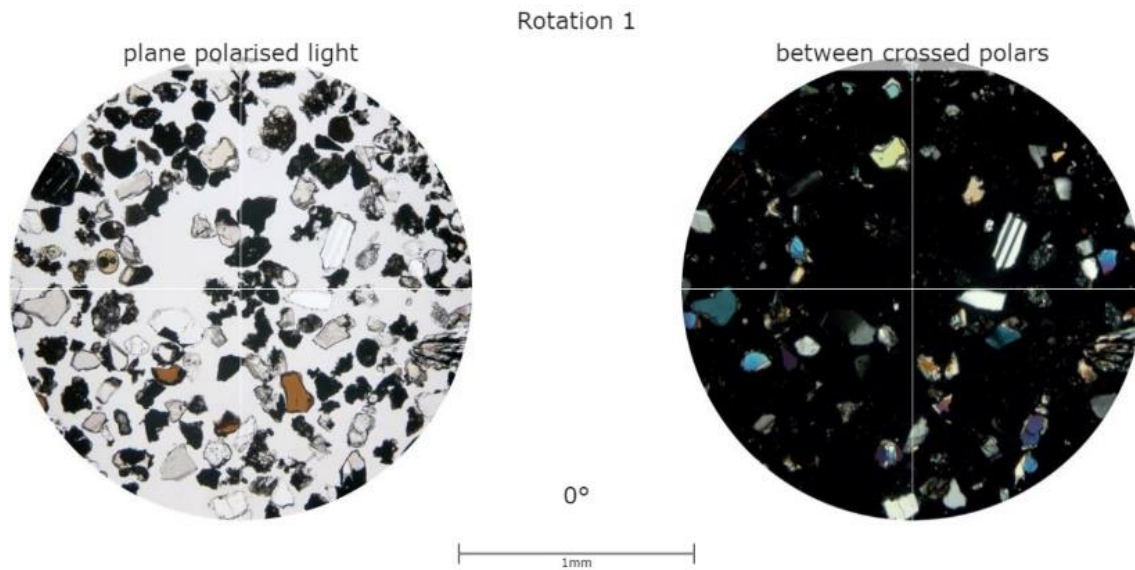
Slika 19: Uzorak 70181 pod mikroskopom Slika 20: Lokacija uzorkovanja (Meyer, 2003)

Izvor snimki: www.virtualmicroscope.org/content/70181-85-mature-mare-regolith

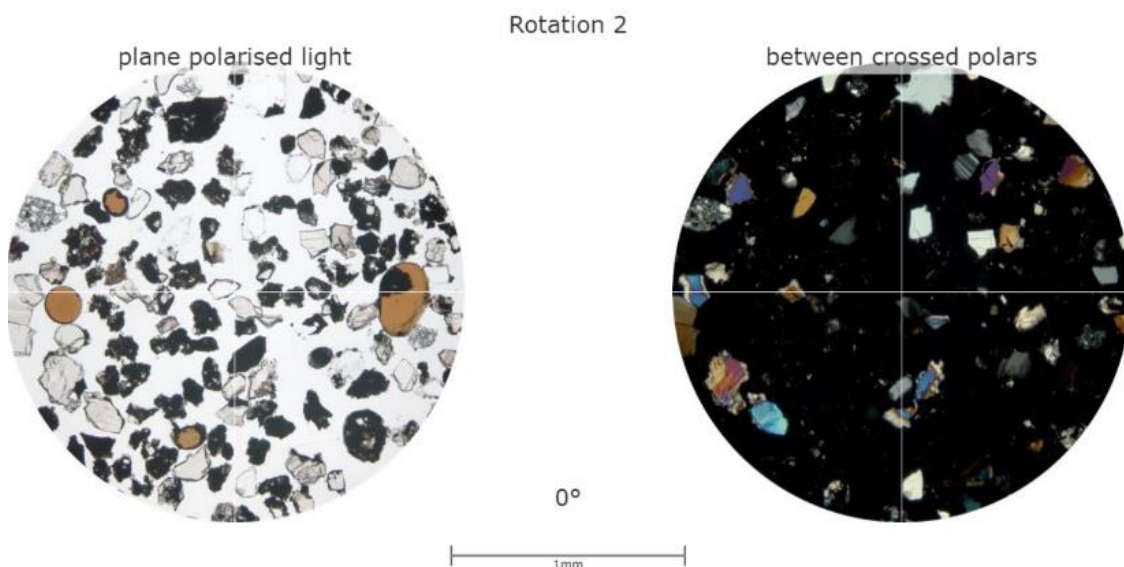
Mikroskopska analiza

Zrna su veličina manjih od 0,5 mm, Sadrži minerale plagioklase i piroksene (klinopirokseni s interferencijskim bojama II. reda). Zrna su subhedralnog i najčešće anhedralnog oblika s alteriranim, trošenim rubovima. Prisutne su sferule narančastog stakla, neke s opakim rubovima (MacKenzie, 1982). Zrna nepravilnog oblika, tamnosmeđe boje (bez analizatora) s opakim dijelovima su aglutinirani koji su složenog

heterogenog izgleda i sadrže sitnije zdrobljene čestice (fragmente stijena, minerala i stakla) vezane staklom. Formirani su taljenjem zbog kontinuiranog bombardiranja mikrometeorita i utjecaja solarnog vjetra, čemu je površina Mjeseca zbog odsustva atmosfere izložena. Sve navedene čestice čine sastav Mjesečevog tla - metamorfnog regolita, nastalog tijekom velikih i malih impakata. Porijeklo tih čestica može biti lokalno, ali i donešeno, a zrakasto pružanje Mjesečevih kratera dokazuje da sitne čestice mogu daleko putovati.



Slika 21: Zrna plagioklasa, narančastog stakla i piroksena



Slika 22: Zrna plagioklasa, narančastog stakla i piroksena

4.4. Uzorak 72275 – feldspatska regolitna breča

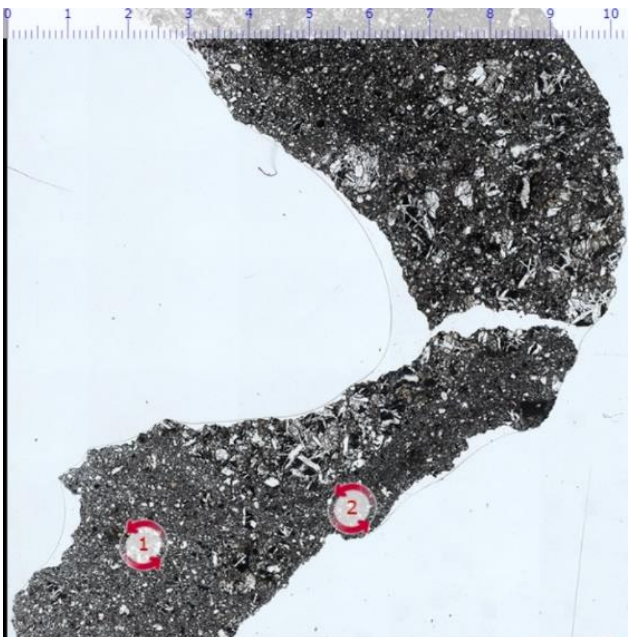


Slika 23:
Makroskopski
uzorak 72275

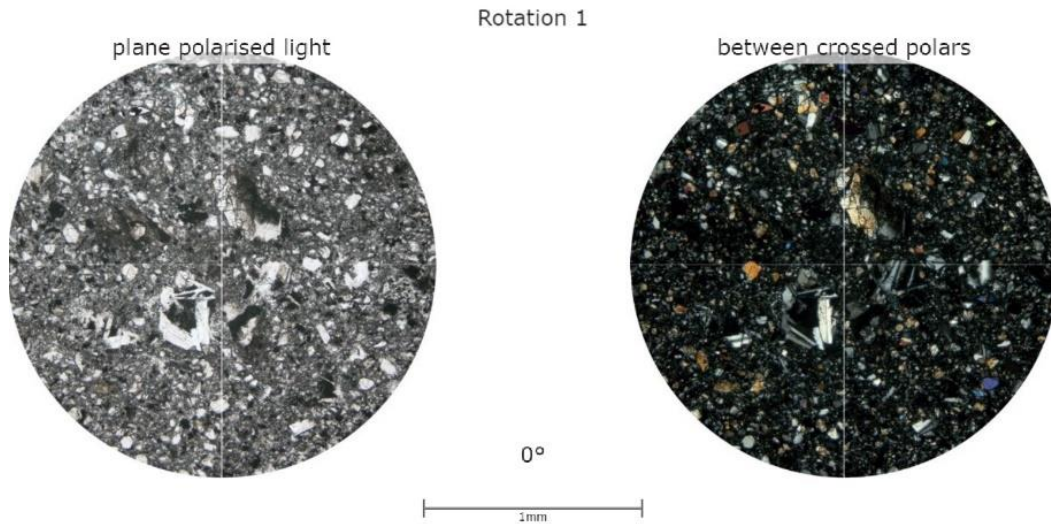
Izvor snimki: <https://www.virtualmicroscope.org/content/72275-148-feldspathic-regolith-breccia>

Makroskopska analiza

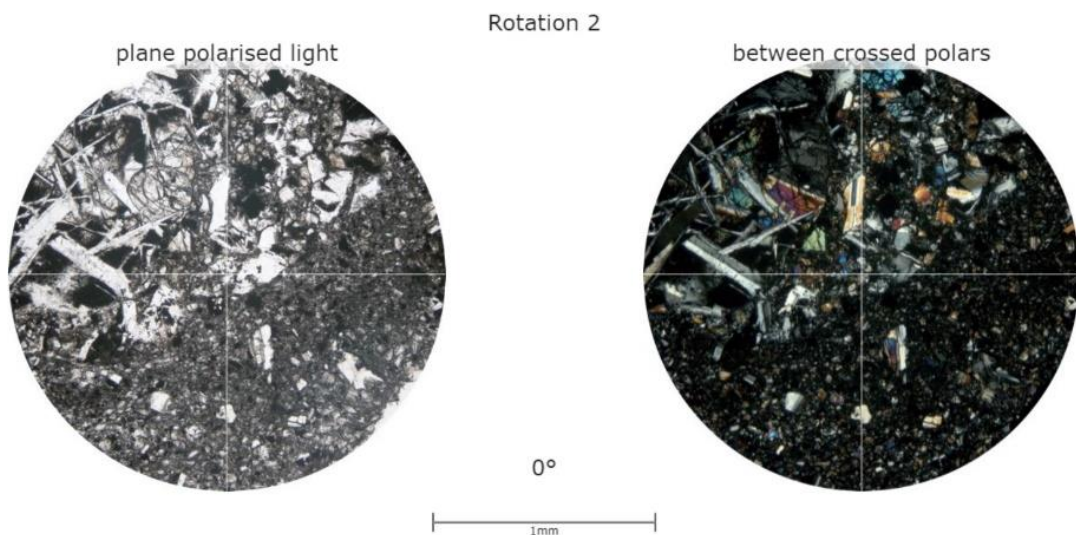
Makroskopski stijena ima uklopljene tamnije klustere minerala u svijetlijoj sitnozrnatoj osnovi. Izvana je prekrivena tankim slojem kojeg je Meyer opisao kao patina koja se razvila erozijom solarnog vjetera i mikrometeorita, te se mikroskopski sastoji od „zap“ šupljina i mnogih raspršenih zrnaca stakla.



Slika 24: Mikroskopski preparat 72275



Slika 25: Matriks s opakim fragmentima i zrcima plagioklasa



Slika 26: Klast subofitske strukture u afanitskom matriksu

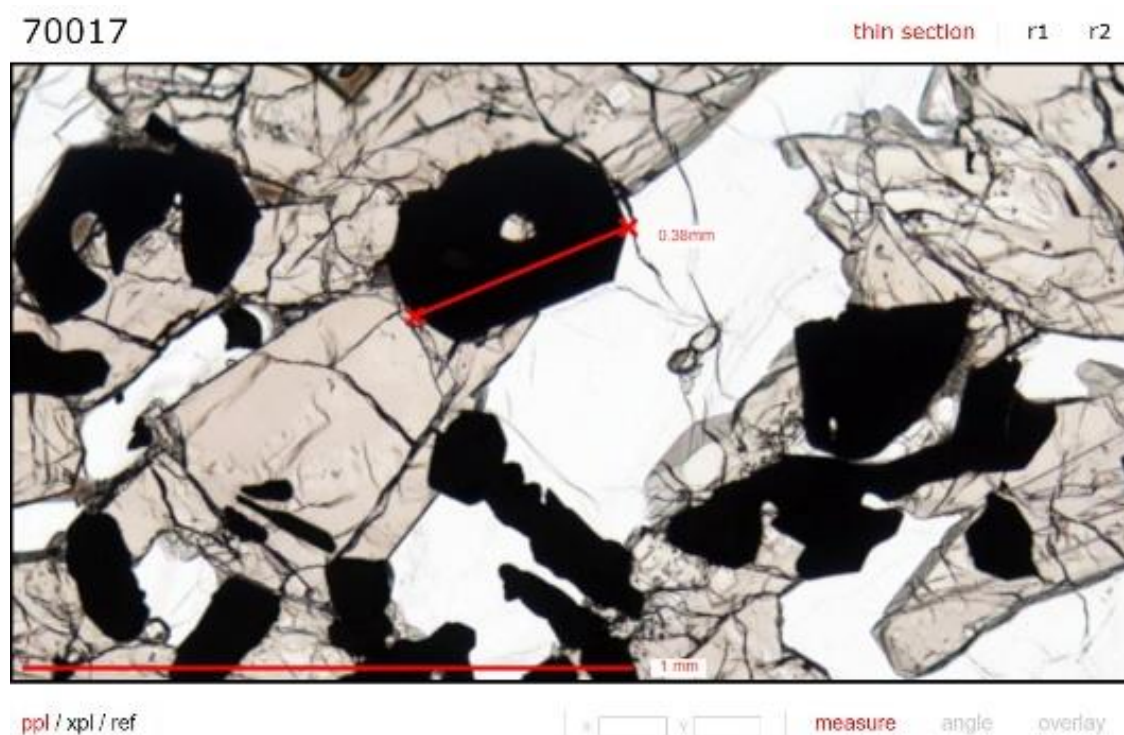
Mikroskopska analiza

Matriks je afanitske strukture s glavnim mineralom feldspatom, dok postoje mjesta nagomilanih malo krupnijih minerala u drugačijem tamnijem matriksu iz čega slijedi karakteristična „breča u breči“ struktura. Staklo je slabo zastupljeno i dio koji asocira na staklo je ustvari maskelynite (šokirani plagioklas) ili praznina. Sitna zrna opakih minerala su, prema Meyeru, diseminirano Fe i troilit, te malo ilmenita. Nakupine subhedralnih igličastih, pravokutnih plagioklasa s manjim zrnima piroksenima tvore subofitsku strukturu klata u afanitskoj breči. Stijena je polimiktna breča (nema povezanosti s regolitom) izmiješana od porijeklom nepovezanih fragmenata materijala. Subofitski bazaltni fragmenti upućuju da potječe s površine Mjeseca.

5. Rasprava

Na temelju prikupljenih literaturnih podataka i analiza predstavljenih u prethodnom poglavlju, pokazalo se da postoje razlike u kvaliteti dostupnih baza. Tako se pokazalo da *The Virtual Microscope for Earth Sciences Project* nije u potpunosti validan za korištenje pošto se potkrala greška u imenovanju uzorka 72275. Navedeni uzorak klasificiran je kao feldspatska regolitna breča, a regolit nije nikako povezan s tom stijenom. Kratak opis i priložene fotografije stijena koji su prezentirani u toj bazi nisu u potpunosti reprezentativni sadržaji (osim za makroskopske uzorke 70017 i 78235 gdje su fotografije prikazane u boji više poslužile pri analizi). Puno se detaljnijim i kompletnijim pokazao vodič dr. Meyera *NASA Lunar Petrographic Educational Thin Section Set* u NASA-inoj bazi podataka s više fotografija i detaljnih točnih analiza.

Korisna značajka kod virtualnih mikroskopa je opcija rudnog mikroskopa što omogućava promatranje opakih minerala. Također oba posjeduju alat za mjerenja veličine zrna proizvoljnim povlačenjem linije i automatski bilježi njezinu duljinu u milimetrima (slika 27). Određeni dijelovi na preparatu su programirani tako da omoguće rotaciju pri kojoj se automatski mjeri kut okretanja.



Slika 27: The Open University Microscope s alatom za mjerenje veličine zrna

U slučaju virtualnog mikroskopiranja nije moguće određivanje reljefa mineralnih zrna praćenjem Beckeove linije kao što je to moguće udaljavanjem/približavanjem objektiva na stvarnom mikroskopu. Nadalje, samostalno određivanje anortitne komponente u plagioklasima mjerenjem najmanje deset zrna u preparatima nije moguće s obzirom da postoje samo dva uvećana mjesta na preparatu za analiziranje i rotaciju. Također je time otežano mjerenje potamnjenja za određivanje piroksena i razlikovanje istih od olivina. Rješenje za sve navedene značajke prilikom mikroskopiranja je najbolje ponuđeno u detaljnom opisu iz „Compendium“ poveznice u NASA-inoj bazi podataka. Ti su opisi poslužili i za određivanje geneze uzoraka, posebno u slučaju 72275 i 70181 gdje je izvođenje zaključaka bilo kompleksnije s obzirom da se radi o specifičnim pojavama u nastajanju Mjesečeve površine nekarakterističnim za Zemlju te je zahtijevalo dodatna objašnjenja. Uzorci norita i bazalta (70017 i 70181) su odlični primjeri za proučavanje kristalizacijskog slijeda kakav je poznat i po uzorcima na Zemlji.

6. Zaključak

Promatranje preparata iz mrežno dostupnih baza podataka virtualnim mikroskopom, unatoč nekim nedostacima, može poslužiti kao vrlo korisna metoda za određivanje stijena, ali nužno je u nekim slučajevima koristiti dodatnu literaturu koja nadoknađuje informacije do kojih se ne može doći samostalno, što zbog nemogućnosti dublje analize putem mikroskopa, tehničkih pogrešaka ili zbog uzoraka za čije su karakteristike potrebna objašnjenja i razumijevanje planetarne geologije.

The Virtual Microscope (www.virtualmicroscope.org/) nudi velike raznovrsne zbirke kratko opisanih uzoraka koji nisu samo ekstraterestričkog karaktera, ali s obzirom na nedovoljno detaljne opise mogao bi poslužiti kao nadopuna sadržajima već postojećih petroloških kolegija preddiplomskih studija gdje su dobrodošli vizualni prikazi. Najbogatija zbirka *UK Virtual Microscope* sadrži razne magmatske, metamorfne i sedimentne stijene s područja Ujedinjenog Kraljevstva, od kojih je većina uz mikroskopske preparate dostupna i u trodimenzionalnom prikazu. Mislim da bi takvi uzorci bili vrlo korisni za kolegije Petrologija magmatskih i metamorfnih stijena i Petrologija sedimentnih stijena, te iako se preparati ne mogu dubinski analizirati, neke značajke kao što su proporcije, veličina, odnos između zrna i boja, moguće je primijeniti u kolegiju Mikrofiziografija stijena. Također, zbirka trodimenzionalnih prikaza minerala *Cornish Mineral Heritage* je izvrsna za primjenu u kolegiju Sistematska mineralogija.

S druge strane, NASA-ina baza podataka (*The NASA Astromaterials Acquisition and Curation Office* www.curator.jsc.nasa.gov/education/lunar-thinsections.cfm) ima veliki izvor uzoraka Mjeseca, meteorita i Marsa i mnoštvo literature s detaljnim opisima te bi se mogao obuhvatiti u sklopu kolegija o planetarnoj geologiji orijentiranog na ponuđene materijale za razinu diplomskog studija. Neki bi uzorci sa sličnostima onih na Zemlji služili kao odlični primjeri za vježbu povezivanja u kolegiju Mikrofiziografija stijena. Za novi kolegij planetarne geologije naglasak bi bio na teorijskom dijelu uz praktičnu primjenu s virtualnim mikroskopom i smatram da je potrebno prethodno usvojiti znanje petroloških kolegija, mineralne optike i mikrofiziografije da bi se sposobnost prepoznavanja minerala, stijena i procesa na već poznatim primjerima Zemlje mogla nadopuniti i uvelike proširiti novim spoznajama.

7. Literatura

Greeley R., Bender K. I Pappalardo R. (1998): Planetary Geology – A Teacher's Guide with Activities in Physical and Earth Sciences, NASA Headquarters. 238 str.

MacKenzie W. S., Donaldson C. H. i Guildford C. (1982): Atlas of igneous rocks and their textures. John Wiley and Sons, 121 str.

McSween H. Y. (2019): Planetary Geoscience. Cambridge University Press, United Kindgom. 334 str.

Meyer C. (2003): The Lunar Petrographic Educational Thin Section Set, Meyer C. Astromaterials Curation NASA Lyndon B Johnson Space Center Houston, 66 str.

Vernon, R. H. (2004): A practical guide to Rock Microstructure. Cambridge University Press, 578 str.

Virtual Microscope for Earth Sciences <https://virtualmicroscope.org/collections> 15.7.-25.9.2020.

Astromaterials Acquisition & Curation Office <https://curator.jsc.nasa.gov/education/lunar-thinsections.cfm#> 15.7.-25.9.2020.