

# Mikrofiziografske značajke stijena iz povijesnog grada Petra u Jordanu

---

Vrabac, Iva

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:217:610894>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Iva Vrabac

**MIKROFIZIOGRAFSKE ZNAČAJKE STIJENA IZ  
POVIJESNOG GRADA PETRA U JORDANU**

Završni rad

Mentor: Prof.dr.sc. Marijan Kovačić

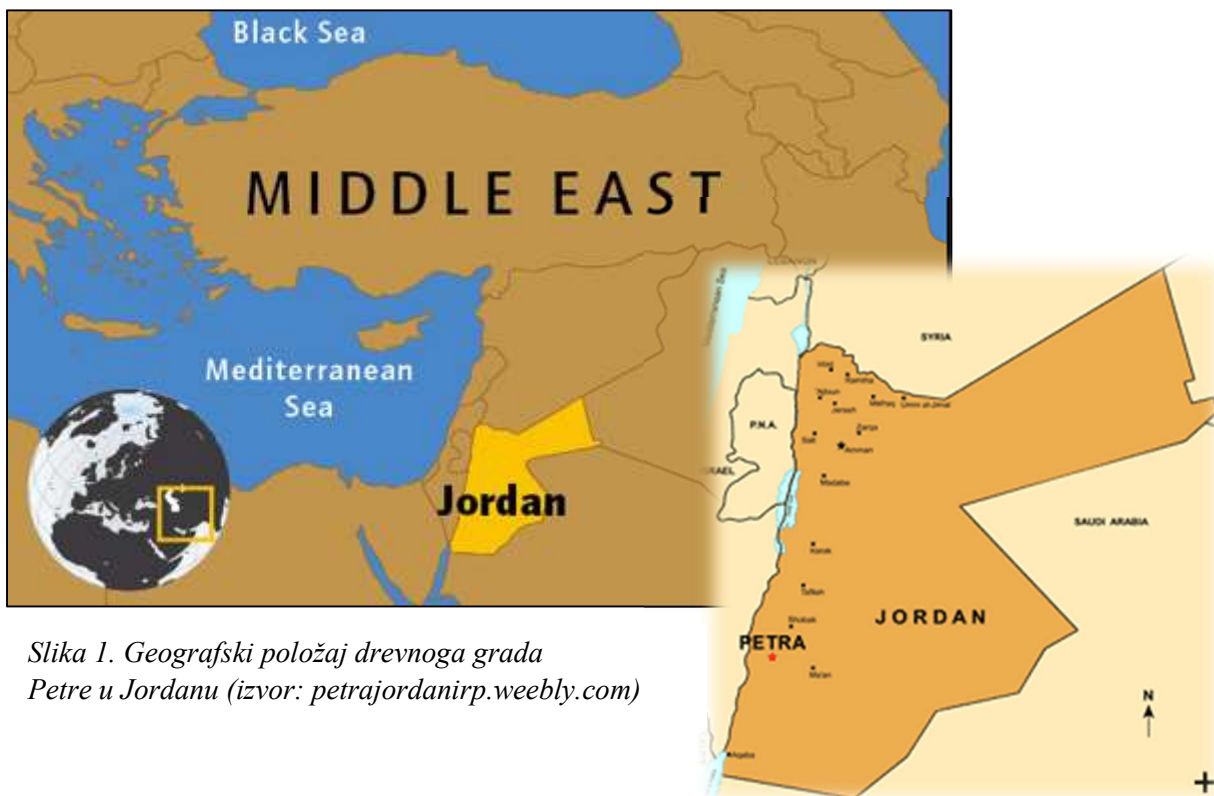
Zagreb, 2020.

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA .....	3
2.1. GEOLOGIJA ŠIREG PODRUČJA PETRE .....	3
2.2. GEOLOGIJA GRADA PETRE .....	5
2.2.1. VARIJACIJE BOJA U FORMACIJI „UMM ISHRIN“ .....	10
2.2.2. LIESEGANG PRSTENOVI .....	12
3. METODE RADA .....	13
3.1. MIKROSKOPSKA ANALIZA IZBRUSAKA .....	13
4. REZULTATI ANALIZA .....	15
4.1. OPIS MIKROSKOPSKIH IZBRUSAKA UZORAKA .....	15
5. ZAKLJUČAK .....	19
6. LITERATURA .....	20

## 1. UVOD

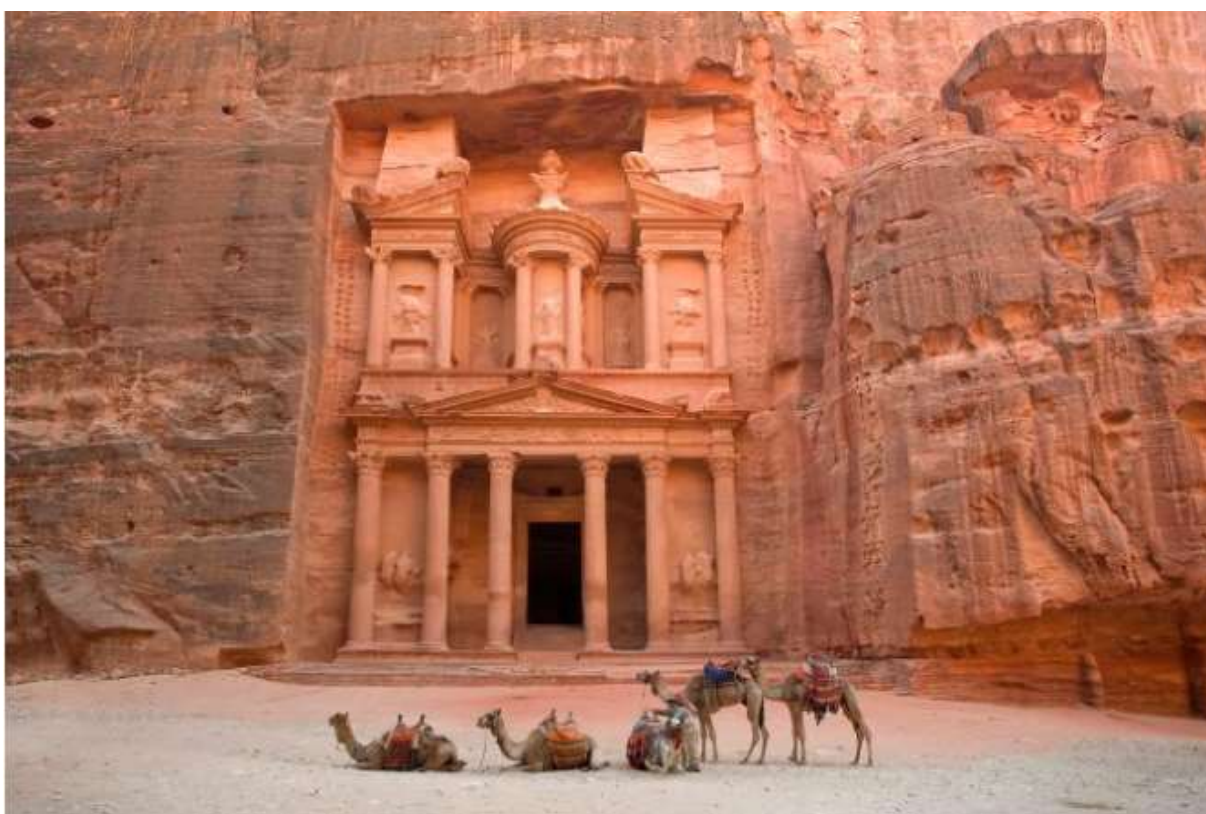
Petra je povijesni i arheološki grad usred Arapske pustinje, u južnom Jordanskom gubernatu, poznat po svojoj kamenoj arhitekturi. Petra je, dakle, grad u stijeni čije impozantne građevine sežu još iz 4. st. pr. Kr. kada su je izgradili nabatejski Arapi (Nabatejci). Petra se nalazi na pola puta između zaljeva Aqaba i Mrtvog mora na visini od 800 do 1350 metara u brdskom području Edoma (Slika 1.). U ovaj antički grad dolazi se iz glavnog grada Ammana ili iz crvenomorske luke Aqaba, a ulazak u grad označava kanjon Siq dugačak 1207 m (Dalglish, 2014.). Sam kanjon nastao je kao posljedica stoljetnih poplava koje su osobito obilne u zimskim mjesecima kada zemlja nije mogla upiti svu vodu. Nabatejci su vrlo inovativno obuzdali žestoke vodene bujice izgrađivši kroz kanjon tunel koji je odvodio vodu u podzemne cisterne koje su onda omogućavale stanovništvu zalihe vode u sušnim mjesecima. Zahvaljujući strateški povoljnom položaju na raskrižju više karavanskih putova koji su spajali Egipat sa Sirijom i južnu Arabiju sa Sredozemljem, grad je u razdoblju od 5. st. pr. Kr. pa do 3. stoljeća naše ere bio vrlo važno trgovačko središte. Petra je naročito kontrolirala raskrižje na putu tamjana (Ivančić, 2018.).



*Slika 1. Geografski položaj drevnoga grada Petre u Jordanu (izvor: petrajordanirp.weebly.com)*

Godine 1985., UNESCO je uvrstio Petru na popis svjetske baštine proglašivši je jednim od najvrjednijih kulturnih dobara čovječanstva, a 2007. i jednim od 7 novih svjetskih čuda (Dalglish, 2014.), (Slika 2.). Iako je sada velika arheološka i turistička destinacija koju svake godine posjeti gotovo milijun posjetitelja, Petru bi bilo primjerenije gledati, ne kao zbirku spomenika s geološkim značajkama, već kao mjesto iznimnih geoloških obilježja kojima spomenici dodaju slavu.

Cilj ovoga rada bio je utvrditi modalni sastav uzorka pješčenjaka s lokaliteta Petra. Uzorak je na samome lokalitetu prikupio prof. dr. sc. Ivica Kladarić sa Strojarskog fakulteta u Slavonskom Brodu i ustupio mi ga na analizu na čemu mu posebno zahvaljujem.

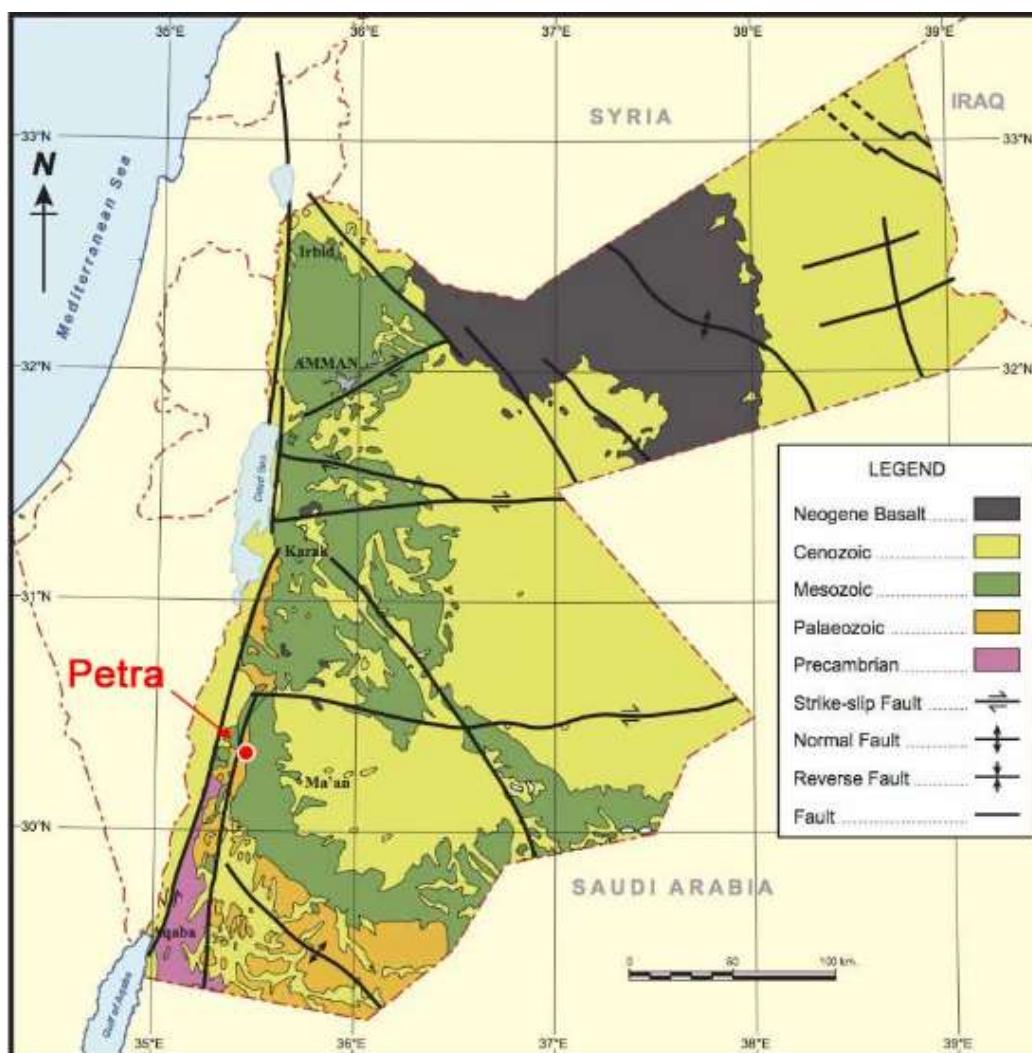


*Slika 2. Riznica u Petri – jedna od najimpresivnijih i najznačajnijih znamenitosti na svijetu  
(izvor: nationalgeographic.com)*

## 2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

### 2.1. GEOLOGIJA ŠIREG PODRUČJA PETRE

Planine na jugu Petre sastavljene su od prekambrijskih magmatskih stijena Aqaba Granite kompleksa koji je isprepleten nizom intruzivnih dajkova. One su nepravilno prekrivene masivnim kvarcnim pješčenjacima koji pripadaju razdoblju srednjeg kambrija i donjeg (starijeg) ordovicija čineći stijene i spomenike Petre (Al – Rawi, 2014.), (Slika 3.). Dobra fizička svojstva stijene mogla bi biti razlog zašto su se Nabatejci odlučili ovdje smjestiti svoj glavni grad jer, osim što je imao dobar pogled, bio je pogodan za klesanje i iskopavanje stijena. Ipak, nakon 2000. god., velik dio obrađenih stijena i iskopanog kamena, pokazuje znakove propadanja, posebno na mjestima kojima prolaze mnogi turisti (Al – Rawi, 2014.).



Slika 3. Pojednostavljena geološka karta Jordana (izvor: Al-Rawi, 2014.)

Impresivni tjesnaci nastali su erozijskim djelovanjem vode za vrijeme poplava koje su se događale u pustinji, a bili su predisponirani tektonski oslabljenim zonama kao što su pukotine i rasjedi, a takav proces odvija se i danas (Slika 4.). Položaj tjesnaca koji se usijecaju točno ispod Petre ukazuje na postojanje nekoliko velikih rasjeda u pravcu S-J koji se nalaze u samoj blizini drevnog grada, ali i na niz manjih i većih rasjeda koji se prostiru kroz gotovo cijelu Arapsku pustinju (Al – Rawi, 2014.), (Slika 3).




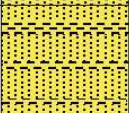




*Slika 4. Kraj dugog tamnog kanjona poznatog kao Siq i ulazak u popularnu riznicu (The Kasneh) (izvor: Al – Rawi, 2014.)*

## 2.2. GEOLOGIJA GRADA PETRE

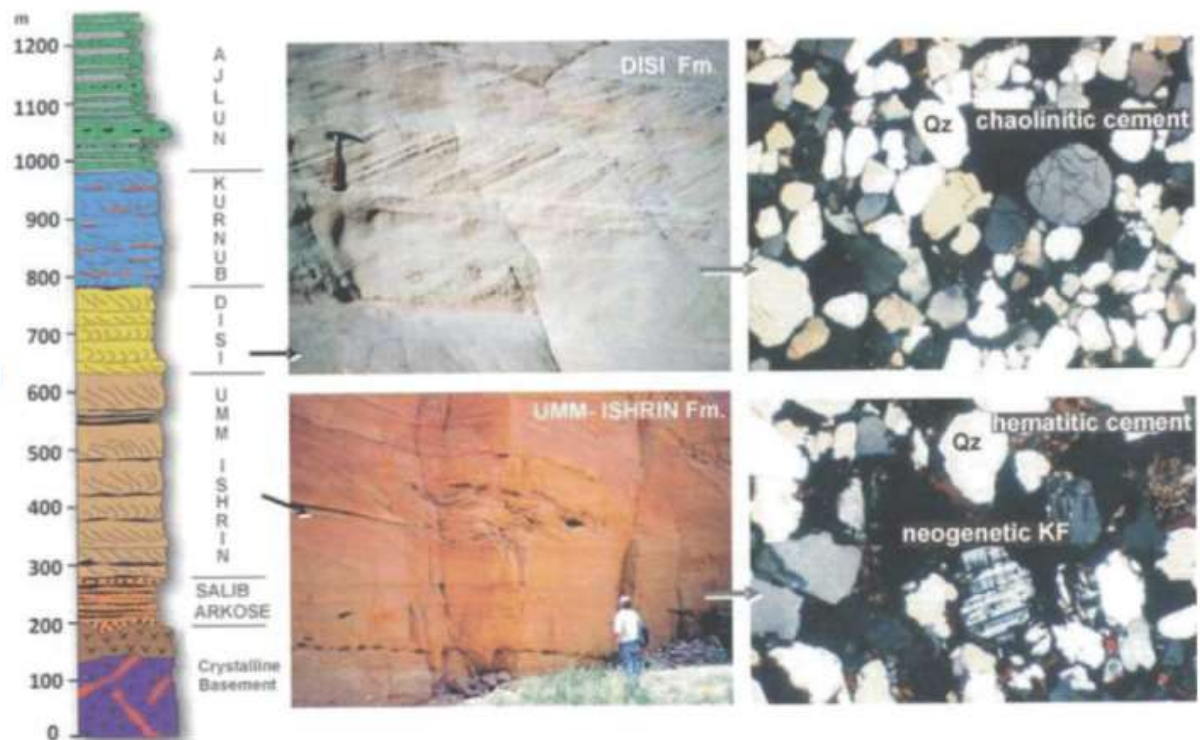
Petra predstavlja mjesto na kojem geologija i arheologija lijepo koezistiraju. Da bismo bolje razumjeli spomenike Petre, treba posvetiti pozornost geologiji nalazišta i pokušati razumjeti kvalitetu stijene koju je lokalitet dao nabatejskim klesarima. Može se pretpostaviti da je uslojeni pješčenjak bio vodeći faktor izbora ovog mjesta, razmjera njegovih spomenika, finih arhitektonskih detalja, ali i dobrog stanja očuvanosti grada koja je zadržana do danas.

Većina spomenika u Petri isklesana je u dva sloja pješčenjaka. Ti se slojevi referiraju kao „Disi pješčenjak“ u gornjem dijelu i „Umm Ishrin pješčenjak“ u donjem dijelu, odnosno ispod njega (Slika 5.). Ta dva sloja zajedno geolozi nazivaju „Rum sandstone group“ te oni datiraju u paleozojsko razdoblje, prije otprilike 540 – 260 milijuna godina (Slika 6.). Kao što je vidljivo iz njihovih imena, Petra je urezana u istim slojevima stijena koji su pronađeni u Wadi Rum-u. Ovaj sloj (grupa) proteže se na sjever ispod cijelog Jordana te je prekriven mlađim vapnenačkim slojevima čija debljina na mjestima dostiže i nekoliko desetaka metara. Ova grupa pješčenjaka može se vidjeti i na istočnoj strani Mrtvog mora, a idući dalje prema sjeveru i istoku, može se detektirati samo pri bušenju dubokih bušotina (Al - Rawi, 2014.).

Mesozoic	Upper Cretaceous		<b>Upper Cretaceous Limestones:</b> above Wadi Mousa
	Lower Cretaceous		<b>Kurnub Sandstone:</b> soft sandstones occupying the valley in the centre of Petra; also visible behind Wadi Mousa
Paleozoic	Lower Ordovician		<b>Disi Sandstone:</b> white domes near Wadi Mousa and behind the Visitor Centre
	Upper Cambrian		<b>Umm Ishrine Sandstone:</b> pale white to reddish and hard sandstone, most of the monuments are carved in the middle part of this unit; Liesegang banding is abundant.
	Lower – Mid Cambrian		<b>Salib Sandstone:</b> thin unit resting on the unconformity
	Precambrian		<b>Basement Complex:</b> only visible beyond the Monastery

Slika 5. Pojednostavljena stratigrafija stijena u području Petre (izvor: Al – Rawi, 2014.)





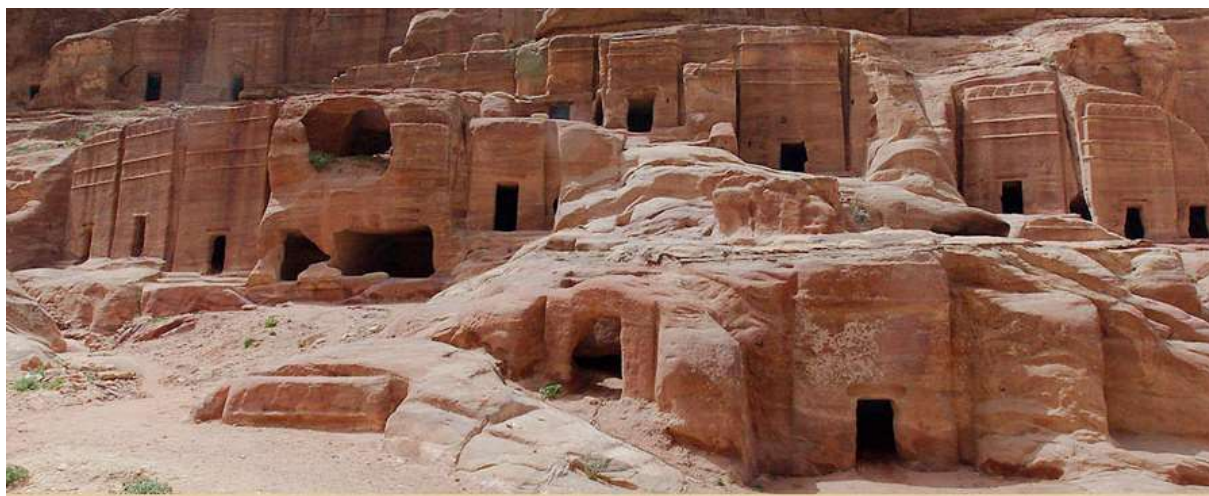
Slika 6. Litostratigrafija područja Petre i pogled na izdanke i tanke presjeke tipičnog pješčenjaka iz Umm Ishrin i Disi formacije – „Rum sandstone group“ (izvor: Franchi et al., 2009.)

U Petri, području oko Visitor Center-a pa sve do ulaza u Siq, okruženi ste „Disi pješčenjakom“. Taj je sloj tvrd, blijedo siv i obično erodira stvarajući forme u obliku kupole. Sav taj pješčani detritus potreban za stvaranje ovog sloja transportirale su drevne rijeke, prije 520 – 490 milijuna godina, formirajući debeli sloj pijeska („sand bed“) na dnu plitkog mora koje je prekrivalo cijeli prostor današnjeg Jordana. Iz ovog sloja su isklesani spomenici: Djin Blocks, Snakes Tombs i Obelisk Tomb – svi koji se nalaze neposredno pred ulazak u Bab Al Siq (Khammash, 2003.), (Slika 7.).



*Slika 7. Obelisk tomb i Bal al-Siq, jedan od rijetkih spomenika isklesanih iz pješčenjaka formacije Disi (izvor: Otten, 2018.)*

Na ulazu u Siq, točno na mjestu gdje se zatvaraju bočne strane, i gdje se rimski luk nekoć probijao da bi označio Bab Al Siq, ulazi se u stariji, masivni sloj „Umm Ishrin pješčenjaka“ (Slika 8.). Svi ostali Petrini spomenici, sve do Al Dair-a, isklesani su iz ovog sloja. Otprilike 20 milijuna godina stariji od sloja iznad, lako se prepoznaje po prekrasnim uzorcima koji izgledaju poput apstraktnih slika. „Umm Ishrin“ formacija sastoji se od kvarcnog pješčenjaka koji je uglavnom cementiran željeznim oksidima (Khammas, 2003.). Zapravo, formacija nije dobro zacementirana i s njom je relativno lako raditi, ali je dovoljno jaka da ostane stabilna. To je možda jedan od razloga zašto su Nabatejci odabrali formaciju „Umm Ishrin“ kao mjesto za svoje naseljavanje. Na visini od 1 - 2 metra porast vlage otkriva razno obojene sedimentne teksture: pruge, u smeđoj, crvenoj, narančastoj, svijetlo ljubičastoj i sivoj boji – sve grupirane i isprepletene u trake. Ova tekstura ukazuje na ritmično taloženje pijeska donesenog prepletenim riječnim sustavom koji je formirao koso uslojene naslage prije otprilike 540 milijuna godina (Khammas, 2003.).



*Slika 8. Selo u špilji u gradu Petri – pogled na „Umm Ishrin pješčenjak“ (izvor: Dalgleish, 2014.)*

Boja pješčenjaka u Petri posljedica je prisustva različitih oksida i hidroksida željeza i mangana u njegovom sastavu. Debljina pješčanih slojeva u Petri kreće se između 300 – 350 m, a rasprostiranje nekoliko stotina kilometara. Pješčana formacija potječe iz kasnog kambrijskog doba (starost 500 mil. god.).

Na ovom bezvremenskom umjetničkom djelu prirode, Nabatejci su uklesali svoja najimpresivnija djela: Riznicu, Al Dair i stotine drugih spomenika (Khammash, 2003.) (Slika 9.).



*Slika 9. Riznica – jedna od najimpresivnijih građevina Petre isklesana u „Umm Ishrin pješčenjaku“ (izvor: Dalglish, 2014.)*

### 2.2.1. VARIJACIJE BOJA U FORMACIJI „UMM ISHRIN“

Varijacije u boji pješčenjaka uzrokovane su sastavom cementa, a same kvarcne granule su gotovo bezbojne.

Svijetla smeđe – žuta je mješavina čistog kvarca s tamnožutim feldspatima (Slika 10., Slika 12.).

Žuta je od sumpora (Slika 10.).

Plava, tamno ljubičasta i siva dolaze od mangana (Slika 12.).

Ružičaste do tamno crvenkaste nijanse (zemljani tonovi) dolaze od željeznog oksida (Slika 11., Slika 13.).

Bijeli pješčenjak uglavnom nema cementa, pješčenjak je uglavnom ružičaste boje.

Važno je razumjeti da su boje nastale nakon taloženja pijeska kao rezultat precipitacije minerala donesenih podzemnim vodama za razliku od kose slojevitosti koja predstavlja taložnu teksturu (Otten, 2018.).



*Slika 10. Pješčenjak u grobnicama između Wadi Ferasa i Street of Facades (izvor: Otten, 2018.)*



*Slika 11. Umm Ishrin pješčenjak s linijama rasjeda do kojih je došlo nakon stvaranja boja (izvor: Otten, 2018.)*



*Slika 12. Ljubičaste, bijele i smeđe - žute pruge u „Umm Ishrin“ pješčenjaku (izvor: Otten, 2018.)*



*Slika 13. Zemljani tonovi u „Umm Ishrin“ pješčenjaku (izvor: Otten, 2018.)*

## 2.2.2. LIESEGANG PRSTENOVI

Pravilni uzorci i prstenovi koji su vrlo česti mogu se naći u „Umm Ishrin“ pješčenjaku na području same Petre, kao i u Wadi Rum-u i Wadi Mujib-u, i nazivaju se Liesegang prstenovi (Slika 14.). Proces stvaranja Liesegang prstenova nije u potpunosti razjašnjen i još uvijek se istražuje. Međutim, pretpostavlja se da bi katalizator za stvaranje Liesegang prstenova mogao biti proces precipitacije poznat kao „Ostwald – Liesegang – supersaturation – nucleation – depletion“ ciklus. Ovaj postupak formira niz prstenova u pješčenjaku – u redovito ponavljanom i naizmjeničnom uzorku koji svoju boju – ili nedostatak boje – duguju prisutnosti određenih minerala (Otten, 2018.), (Slika 14.).



*Slika 14. Liesegang prsten formiran u „Umm Ishrin“ pješčenjaku, Petra  
(izvor: Otten, 2018.)*

### 3. METODE RADA

#### 3.1. MIKROSKOPSKA ANALIZA IZBRUSAKA

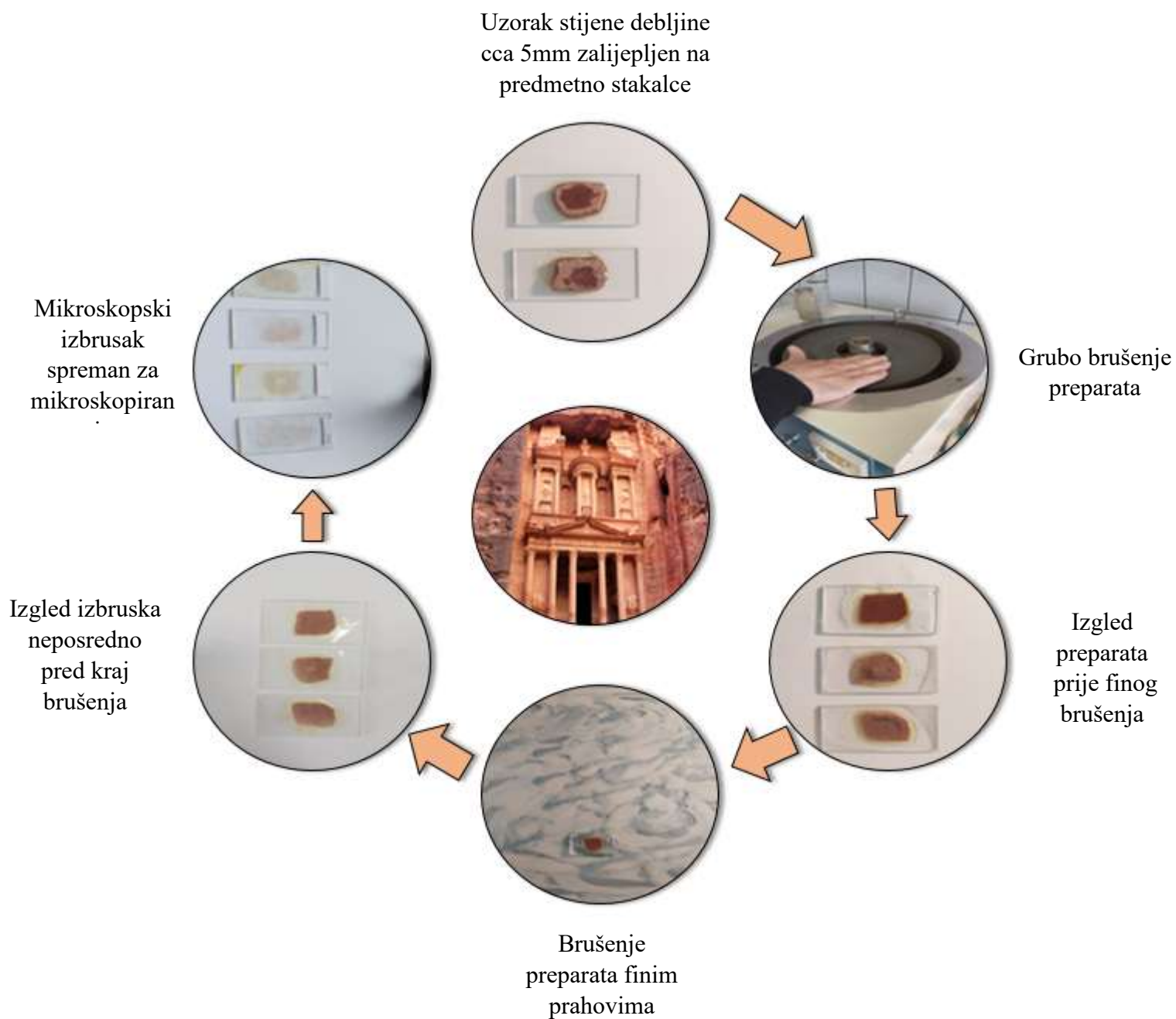
Dobiveni uzorak stijene s lokaliteta Petra izrezan je na četiri pločice debljine oko 5 mm. Kako bi se uklonili zarezi pile, pločice su s jedne strane izbrušene finim prahom. S izbrušenom stranom okrenutom prema predmetnom stakalcu, pločice su pomoću Canada balzama zaljepljene na isto, a onda su brušenjem pomoću praha stanjene na debljinu od oko 30 mikrometara. Izbrusci su zatim prekriveni pokrovnim stakalcem i očišćeni.

Postupak izrade mikroskopskih izbrusaka grafički je prikazan na Slici 15.

Analizom mikroskopskih izbrusaka određen je kvalitativni i kvantitativni mineralni sastav promatranog uzorka. Određena su sva mineralna zrna unutar vidnog polja nasumično izabranih paralelnih linija promatranog preparata. Određeno je približno 350 mineralnih zrna. Posebno je izračunat postotni udio glavnih detritičnih modova; kvarca, litičnih čestica i feldspata, koji služi za klasifikaciju pješčenjaka.

Glavni detritični modovi grupirani su prema metodi koju je koristio Dickinson (1985.).



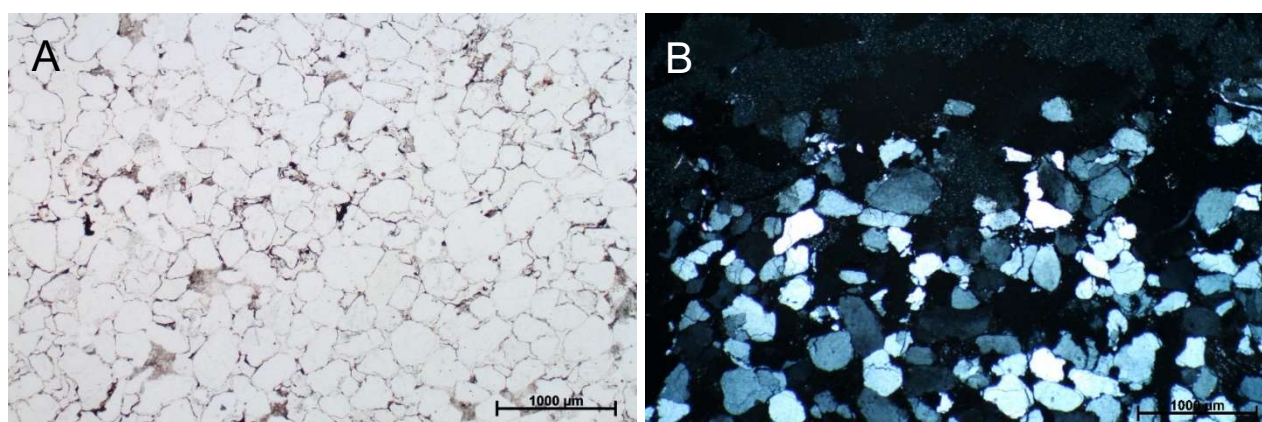


*Slika 15. Grafički prikaz izrade mikroskopskog izbruska opisan u nekoliko koraka*

## 4. REZULTATI ANALIZA

### 4.1. OPIS MIKROSKOPSKIH IZBRUSAKA UZORAKA

Analizom mikroskopskih izbrusaka utvrđeno je da je pješčenjak s lokaliteta Petra u Jordanu izgrađen od dobro sortiranih, gusto pakiranih siliciklastičnih čestica koje su najčešće u suturiranom kontaktu (Slika 16). U sastavu čestica izrazito dominira kvarc, a osim njega zabilježene su i litične čestice (Tablica 1.) te pokoje zrno iz teške mineralne frakcije.

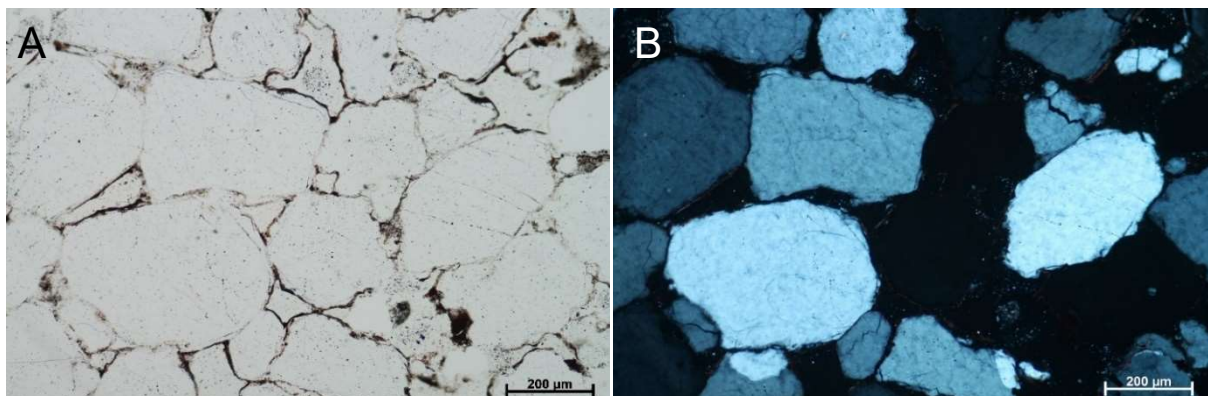


Slika 16. Mikrofotografija izbruska pješčenjaka s lokaliteta Petra. Pješčenjak je izgrađen od dobro sortiranih, gusto pakiranih siliciklastičnih čestica koje su u suturiranom kontaktu. (A – analizator isključen; B – analizator uključen)

Tablica 1. Udio glavnih detritičnih modova u modalnom sastavu pješčenjaka s lokaliteta Petra.

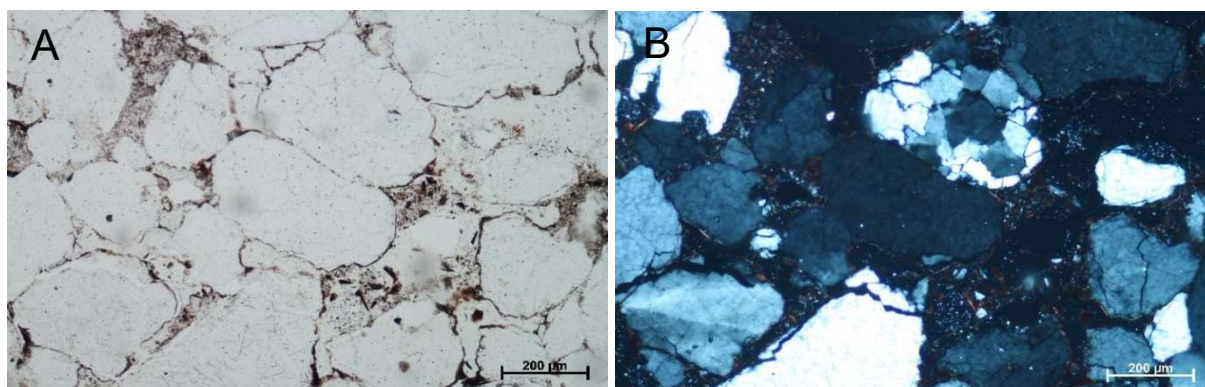
Ukupni broj izbrojenih minerala	Mineral	Broj minerala	Postotak
348	Monokristalni kvarc (Qm)	266	76%
	Polikristalni kvarc (Qp)	63	18%
	Litični fragmenti (Lt)	19	6%

Među kvarcnim zrnima koja su u pravilu dobro zaobljena prevladavaju zrna monokristalnog kvarca, dok su zrna polikristalnog kvarca znatno rjeđa (Tablica 1). Među zrnima monokristalnog kvarca prevladavaju ona s jednolikim potamnjenjem, dok su zrna valovitog potamnjenja slabije zastupljena (Slika 17).



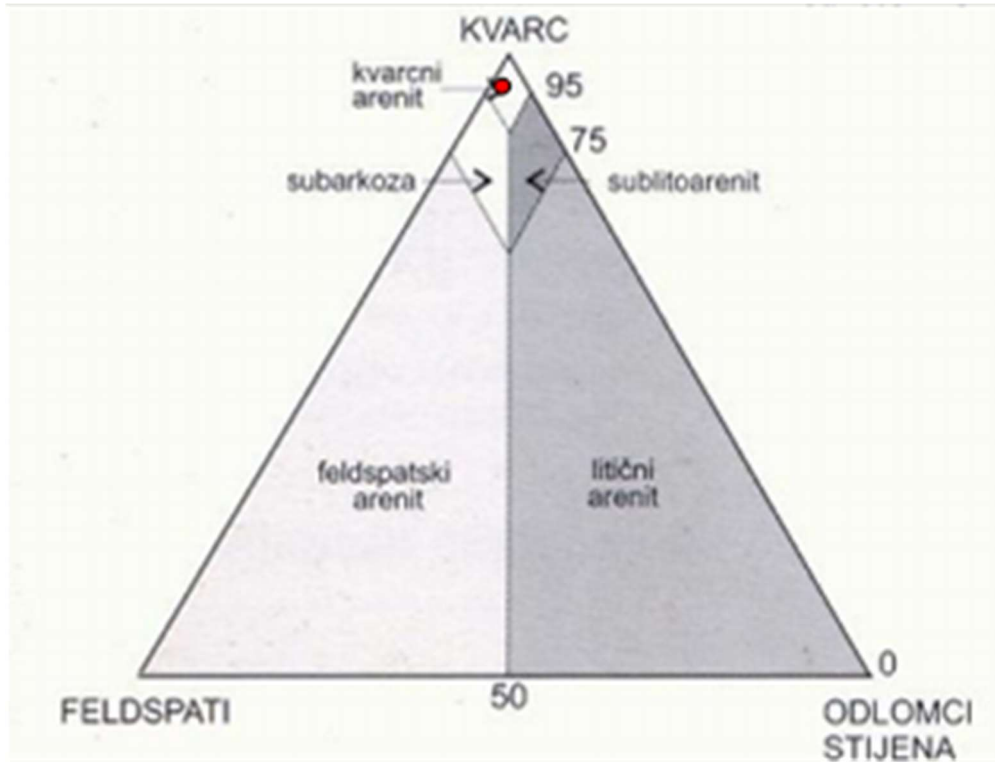
*Slika 17. Mikrofotografija izbruska pješčenjaka s lokaliteta Petra na kojoj se vide gusto pakirana i dobro zaobljena zrna monokristalnog kvarca jednolikog potamnjenja (A – analizator isključen; B – analizator uključen)*

Od litičnih čestica utvrđeno je samo prisustvo rožnjaka. Zbog vrlo guste pakiranosti čestica vezivo u uzorku je vrlo oskudno. Sastavljeno je uglavnom od kalcedona, mjestimično s malo gline te hematitom (hematitni obrub) (Slika 18.).



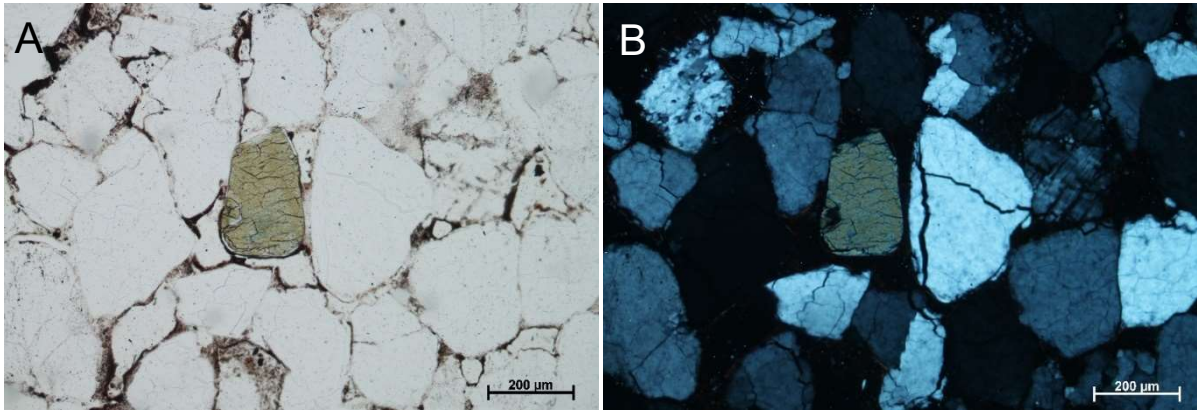
*Slika 18. Mikrofotografija uzorka pješčenjaka s lokaliteta Petra na kojoj je vidljivo silikatno vezivo i hematitni obrub oko detritičnih zrna (A – analizator isključen; B – analizator uključen)*

Prema modalnom sastavu vrsti i količini veziva uzorak se može opisati kao kvarcni arenit (Slika 19).



Slika 19. Trokomponentni dijagram za klasifikaciju arenitnih pješčenjaka (Pettijohn et al., 1987) prema kojem analizirani pješčenjak s lokaliteta Petra spada u kvarcne arenite. Sastav analiziranog uzorka prikazan je crvenom točkom.

Osim glavnih detritičnih modova u izbrusku je zabilježeno i nekoliko zeleno obojanih zrna umjerenog reljefa i živih interferencijskih boja na kojima su vidljiva dva sustava kalavosti pod kutem od 60 stupnjeva (Slika 20). Prema mikroskopskim značajkama radi se o amfibolu iz skupine hornblende.



*Slika 20. Fotografija uzorka na kojoj je vidljivo zrno hornblende s isključenim (A) i uključenim analizatorom (B)*

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran uzorak stijene donesen s lokaliteta Petra u Jordanu. Analizom mikroskopskog izbruska utvrđeno je da se radi o dobro sortiranom pješčenjaku tipa kvarcnog arenita. U sastavu pješčenjaka dominira monokristalni kvarc jednoličnog potamnjenja, a ostatak stijene čine polikristalni kvarc i čestice rožnjaka. Dobra sortiranost pješčenjaka, dobra zaobljenost čestica i izostanak matriksa u vezivu pokazatelj su strukturne zrelosti pješčenjaka, a dominacija najrezistentnijih čestica u sastavu ukazuje na njegovu visoku mineralošku zrelost.

Prema svojim mikroskopskim značajkama i makroskopskom izgledu, analizirani uzorak vjerojatno pripada sloju „Umm Ishrin“ pješčenjaka pa se može pretpostaviti da dolazi s neke od monumentalnih građevina staroga grada Petra.

## 6. LITERATURA

- Al - Rawi, M. (2014.): Petra The Rose – Red Wonder,  
<<https://www.geoexpro.com/articles/2014/04/petra-the-rose-red-wonder>>.  
17. kolovoza 2020.
- Dalgeish, J. (2004.): Petra – A Lost City Found,  
<<https://www.jeandalgeish.com/04-petra/index.php>>. 25. rujna 2020.
- Dickinson, W.R. (1985) Interpreting Provenance Relations from Detrital Modes of Sandstones. In: Zuffa, G.C., Ed., Provenance of Arenites, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, The Netherlands, 333-362.
- Franchi, R., Pallecchi, P. (1995.) The sandstone of Petra, petrography and problems in conservation. In: Pan-cella, R. (ed.) Preservation and restoration of cultural heritage. Pancella, Losanne, 679–689
- Ivančić, H. (2018.): Petra – grad u stijeni,  
<<https://citymixandmatch.hr/mix-and-match/petra-grad-u-stijeni/>>.  
27. kolovoza 2020.
- Khammash, A. (2003.): The Jordan Times Weekender,  
<<http://www.khammash.com/research/petra-iron-and-manganese>>.  
17. kolovoza 2020.
- National Geographic Staff: Discover the raw beauty of Petra,  
<<https://www.nationalgeographic.com/travel/world-heritage/petra-jordan/>>.  
25. kolovoza 2020.
- Otten, J. (2018.): Petra, the red rose city of Jordan,  
<<https://www.hunebednieuwscafe.nl/2018/09/petra-jordan/>>. 4. rujna 2020.
- Petra, Jordan: One of the new 7 wonders of the world,  
<<https://petrajordanirp.weebly.com/index.html>>. 17. kolovoza 2020.
- Pettijohn, F. J., Potter, Paul E., Siever, Raymond (1987.): Sand and sandstone, Second edition, Springer – Verlag, New York – Heidelberg - Berlin