

UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

Zoran Ž. Miladinović

MINERAGENETSKE KARAKTERISTIKE I  
POTENCIJALNOST JUVELIRSKIH  
MINERALNIH RESURSA LECKOG  
VULKANSKOG KOMPLEKSA

DOKTORSKA DISERTACIJA

Beograd, 2012

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Zoran Ž. Miladinović

MINERAGENETIC CHARACTERISTICS AND  
POTENTIALITY OF GEM MINERAL  
RESOURCES OF LECE VOLCANIC COMPLEX

DOCTORAL DISSERTATION

Belgrade, 2012

Mentori: **dr Rade Jelenković**, redovni profesor, naučna oblast – ekonomska geologija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

**dr Vladimir Simić**, vanredni profesor, naučna oblast – ekonomska geologija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Član komisije: **dr Slobodan Radosavljević**, naučni savetnik, naučna oblast – mineralogija, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Datum odbrane:

## ZAHVALNOST

Na nesebičnoj pomoći, konstantnom usmeravanju, dragocenim primedbama i savetima najtoplije se zahvaljujem svojim mentorima, prof. dr Radetu Jelenkoviću i prof. dr Vladimiru Simiću.

Članu komisije dr Slobodanu Radosavljeviću hvala na iskrenoj podršci i korisnim sugestijama.

Prof. dr Bošku Stajeviću, dugujem posebnu zahvalnost kako na stalnim i brojnim konsultacijama tako i na velikoj i nesebičnoj podršci prilikom terenskih istraživanja.

Veliko hvala prof. dr Radovanu Dimitrijeviću koji mi je svojim savetima pomogao pri interpretaciji rezultata rendgenskih analiza.

Draganu Pešiću, vrsnom mineralogu, dugujem zahvalnost na brojnim časovima koje smo proveli nad petrografskim mikroskopom i neprocenjivoj pomoći pri identifikaciji petrogenih minerala.

Prof. dr Vladići Cvetkoviću, docentu Kristini Resimić i dr Aleksandru Pačevskom sam zahvalan na mogućnosti korišćenja skenirajućeg elektronskog mikroskopa, kao i na stručnoj ekspertizi pri analizama.

Diferencijalno termičke analize ne bi bilo moguće izvesti bez nesebične pomoći prof. dr Đorđa Janačkovića i njegovog tima.

Prof. dr Miloju Iliću se zahvaljujem na neprestanom podstreku i korisnim konsultacijama.

Dr Jovan Kovačević i mr Zoran Draško su nesebično pomogli ustupanjem vrlo bitne literature.

Deo terenskih istraživanja i laboratorijskih analiza finansiran je sredstvima Ministratsva životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja u sklopu realizaciji projekta „Sinteza izvršenih geoloških istraživanja juvelirskih mineralnih sirovina Srbije sa ocenom potencijalnosti“. Kolegama iz Ministarstva dugujem veliku zahvalnost.

*Neizmernu zahvalnost dugujem svojoj porodici – supruzi Tijani i mojim devojčicama Staši i Mini, koje su u svakom trenutku bile uz mene i omogućile mi da istrajam.*

# MINERAGENETSKE KARAKTERISTIKE I POTENCIJALNOST JUVELIRSKIH MINERALNIH RESURSA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

## Rezime

Jedan od najznačajnijih regiona u Srbiji, sa stanovišta potencijalnosti juvelirskih mineralnih resursa, predstavlja lecki vulkanski kompleks, tercijarne starosti i dominantno andezitskog sastava. Ovaj vulkanski kompleks površine preko 700km<sup>2</sup> nalazi se u južnoj Srbiji na prostoru između Kuršumlije, Lebana i Medveđe.

Prvi su pažnju na juvelirske mineralne sirovine ovog prostora obratili graditelji Justinijane Prima-e (VI vek). Najintenzivnija istraživanja izvršena su u periodu 1980–1982. ali samo na malom prostoru krajnjeg jugoistočnog dela vulkanskog kompleksa.

U Leckom vulkanskom kompleksu dominiraju andezitske stene i njihovi piroklastiti. Smatra se da je početak vulkanske aktivnosti vezan za gornji oligocen a da je trajao tokom većeg dela miocena. Među andezitima se mogu izdvojiti dve najveće grupe: amfibolski i piroksenski andeziti. Lecki vulkanski kompleks se nalazi u graničnom delu između dve krupne geotektonske jedinice — srpsko-makedonske mase i vardanske zone. Dve regionalne razlomne strukture od velikog značaja za nastanak vulkanskog masiva su Tupalska i Merdarska.

Utvrđeno je 14 nalazišta (ležišta i pojava) juvelirskog kamena pri čemu je 8 pronađeno prilikom realizacije disertacije. Obradena su sledeća nalazišta juvelirskog kamena: Rasovača, Bučumet, Kameno rebro, Gajtan-Crvodik, Pusto Šilovo, grupa pojava u istočnom obodnom delu kompleksa, Put za Vlasovo, Mehane I, Mehane II, Đake, Sokolov vis, Ždraljevići i aluvion Kosanice.

Juvelirski kamen je uglavnom predstavljen kvarcom (niskotemperaturni  $\alpha$ -kvarc), kalcedonom („length-fast“ i „length-slow“) i jaspisom (mešavina kvarca i kalcedona). Prisutni su brojni podvarijeteti (po boji i teksturnim odlikama) kalcedona (ahat, kaneol, sard, crni kalcedon, plavi kalcedon, šareni kalcedon, mahovinasti...), jaspisa (crveni, braon, slikoviti jaspis u raznim varijantama, mahovinasti, pejzažni...) i kvarca (ametist i gorski kristal).

Pri realizaciji disertacije korišćeno je više različitih metoda laboratorijskih analiza: mineraloško-petrografska, rendgenska difrakciona (XRD), hemijska ICP-MS i ICP-OES metodom, skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM), diferencijalno termička (DTA) kao

i gemološke metode identifikacije: refraktometrija (određivanje indeksa prelamanja svetlosti) i određivanje specifične težine (gustine).

Kvalitet juvelirske mineralne sirovine je potvrđen juvelirskom obradom i izradom nakita. Pri tome je utvrđeno da se radi o sirovini koja se najadekvatnije može upotrebiti za dobijanje nakita korišćenjem: *en cabochon* obrade, gliptografije i kombinovane obrade.

Ležišta juvelirskog kamena su predstavljena hidrotermalnim epitermalnim (kvarcno-brečaste razlomne zone i kvarne/ahatne žice) i teletermalnim ležištima (silicijski sinteri i vulkanski ahati), ali i ležištima mehaničkih sedimenata (eluvijalni, deluvijalni, proluvijalni i aluvijalni nanosi) koja su nastala razaranjem primarnih endogenih ležišta.

Morfostrukturno-morfogenetski oblici rudnih tela su predstavljeni: žicama, sočivima, slojevima, žiličastim i stratiformnim pločastim rudnim i manjim gnezdastim rudnim telima prisutna uglavnom kod vulkanskih ahata.

U rudnom reonu Lece, sastavnom delu Lece-Halkidiki mineragenetske zone, izdvojena su rudna polja juvelirskih mineralnih sirovina: Rasovača, Bučumet, Mehane i Caričin grad.

Kriterijumi potencijalnosti odnosno kontrolni faktori stvaranja i prostornog razmeštaja orudnjenja juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa su magmatogeni, strukturni, litološki, geomorfološki i geofizički. Indikatori rudonosti juvelirske mineralne sirovine su: izdanci, mehanički oreoli rasejavanja, stari rudarski radovi i metasomatske izmene/hidrotermalne alteracije.

Na bazi tradicionalnih mineragenetskih kriterijuma izrađena je prognoza ocena prezentovana prognoznom kartom sa 5 nivoa perspektivnosti.

Ključne reči: vulkanski kompleks, mineragenetske karakteristike, juvelirski mineralni resursi, nalazišta, potencijalnost, kvarc, ametist, ahat, kalcedon, jaspis, prognoza.

Naučna oblast: GEO-NAUKE

Uža naučna oblast: GEOLOGIJA

UDK: 553.89(043.3)

# MINERAGENETIC CHARACTERISTICS AND POTENTIALITY OF GEM MINERAL RESOURCES OF LECE VOLCANIC COMPLEX (SOUTH SERBIA)

## Summary

One of the most significant regions in Serbia, relative to gemstone mineral resources, is the Lece volcanic complex, Tertiary age and dominantly andesitic composition. This volcanic complex, located in southern Serbia and covers an area of over 700 km<sup>2</sup>.

Very intense explorations were conducted in the period between 1980-1982, but only in a relatively small area in the southeastern part of the Lece volcanic complex.

It is considered that the volcanic activity begins in the Upper Oligocene and continues through most of the Miocene. The present andesitic rocks are divided into two large groups: amphibolitic and piroxenitic andesites. This volcanic complex is located on the border between two large geotectonic units — the Serbo-Macedonian mass and the Vardar zone. Two regional fault structures of major importance in the formation of this volcanic complex are: the Tupale and the Merdare dislocations.

There are 14 gemstone occurrences in the Lece volcanic complex and 8 of them were discovered during the realisation of this doctoral thesis. Those occurrences are: Rasovača, Bučumet, Kameno rebro, Gajtan-Crvodik, Pusto Šilovo, group of occurrences in the eastern marginal part of the volcanic complex, Put za Vlasovo, Mehane I, Mehane II, Đake, Sokolov vis, Ždraljevići and alluvium of Kosanica.

The mineral composition of gemstone is mainly represented by quartz (low temperature  $\alpha$ -quartz, chalcedony („length-fast“ and „length-slow“) and jasper (mixture of quartz and chalcedony). Numerous subvarieties (regarding colour and texture characteristics) of chalcedony (agate, carnelian, sard, black chalcedony, blue chalcedony, picture, moss...), jasper (red, brown, picture jasper in variegated color variations, landscape jasper...) and quartz (amethyst and rock crystal) are present.

A number of different laboratory analyses were used: optical mineralogical and petrological, X-Ray diffraction, chemical trace analysis (ICP-MS and ICP-OES), scanning electron microscopy (SEM), differential thermal analysis (DTA). Some gemmological analysis were also conducted: refractometry (refractive index determination) and specific gravity (density) measurements.

The quality of the gemstone raw material is verified through lapidary processing (gemstone cutting) and the production of jewelry. It has been established that the most adequate use of raw material is by using *en cabochon* cut, gliptography and mixed cut.

The quality of the gemstone raw material is verified through lapidary processing (gemstone cutting) and the production of jewelry. It has been established that the most adequate use of the raw material is by using *en cabochon* cut, gliptography and mixed cut.

The gemstone deposits of the Lece volcanic complex are represented by hydrothermal – epithermal (quartz-brecciated zones and quartz/agate veins) and telethermal deposits (siliceous sinters and volcanic agates), as well as mechanical sediments deposits (elluvial, delluvial, proluvial and alluvial placers) which are created by degradation of the primary endogenic ones.

The morphostructural-morphogenetic types of gemstone ore bodies are: veins, lenses, layers, veinlets, stratiform plate ore bodies and small nest like ore bodies which are associated with volcanic agates.

The Lece mining district, part of the Lece-Halkidiki mineragenic zone, includes the following gemstone mining fields: Rasovača, Bučumet, Mehane and Caričin grad.

The potentiality criteria and ore-control factors of the lece volcanic complex gemstone deposits are: magmatogenic, structural, litological, geomorphological and geophysical. Gemstone ore indicators are: outcrops, mechanical scattering halos, old mining works, metasomatic/hydrothermal alterations.

Based on the traditional mineragenic criteria, the prognosis assessment is given in the form of a prognostic map with 5 level perspectivity.

Key words: volcanic complex, mineragetethic characteristics, gemstone mineral resources, occurrences, potentiality, quartz, agate, chalcedony, jasper, prognosis.

Field of academic expertise: GEO-SCIENCES

Major in: GEOLOGY

UDC: 553.89(043.3)



# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PREGLED RANIJIH ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>3</b>
<b>3. GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA</b> .....	<b>6</b>
<b>4. GEOLOŠKA GRAĐA I STRUKTURNE KARAKTERISTIKE LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA</b> .....	<b>11</b>
4.1. GEOLOŠKA GRAĐA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA .....	11
4.1.1. <i>Amfibolski andeziti</i> .....	13
4.1.1.1. Hornblenda andeziti .....	13
4.1.1.2. Hornblenda-piroksenski andeziti .....	14
4.1.1.3. Hornblenda-piroksen-biotitski andeziti .....	15
4.1.1.4. Prelazni tipovi ka dacitima .....	15
4.1.2. <i>Piroksenski andeziti</i> .....	15
4.1.3. <i>Andezit bazalti</i> .....	17
4.1.4. <i>Daciti</i> .....	17
4.1.5. <i>Latiti</i> .....	18
4.1.6. <i>Piroklastične stene</i> .....	18
4.1.7. <i>Kvarcne razlomne zone</i> .....	20
4.2. STRUKTURNE KARAKTERISTIKE LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA .....	22
<b>5. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE NALAZIŠTA (LEŽIŠTA I POJAVA) JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA</b> .....	<b>30</b>
5.1. LEŽIŠTE RASOVAČA .....	31
5.2. LEŽIŠTE BUČUMET .....	36
5.3. LEŽIŠTE KAMENO REBRO .....	41
5.4. LEŽIŠTE VRTAČE .....	43
5.5. POJAVA GAJTAN-CRVODIK .....	46
5.6. POJAVA PUSTO ŠILOVO .....	49
5.7. GRUPA POJAVA JUVELIRSKOG KAMENA U ISTOČNOM OBODNOM DELU LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA .....	52
5.8. POJAVA PUT ZA VLASOVO .....	56
5.9. POJAVA MEHANE I .....	58
5.10. NALAZIŠTE MEHANE II .....	60
5.11. POJAVA ĐAKE .....	62
5.12. POJAVA SOKOLOV VIS .....	64
5.13. POJAVA ŽDRALJEVIĆI .....	66
5.14. ALUVION KOSANICE .....	69
<b>6. MINERALNI SASTAV JUVELIRSKOG KAMENA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA</b> .....	<b>73</b>
6.1. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA LEŽIŠTA RASOVAČA .....	81
6.2. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA LEŽIŠTA BUČUMET .....	85
6.3. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA LEŽIŠTA KAMENO REBRO .....	90
6.4. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA LEŽIŠTA VRTAČE .....	93

6.5. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA PUSTO ŠILOVO .....	96
6.6. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA GAJTAN-CRVODIK .....	99
6.7. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA U ISTOČNOM OBODNOM DELU LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA .....	100
6.8. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA PUT ZA VLASOVO .....	103
6.9. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA MEHANE I .....	106
6.10. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA MEHANE II.....	108
6.11. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA ĐAKE.....	112
6.12. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA SOKOLOV VIS....	114
6.13. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA ŽDRALJEVIĆI.....	118
6.14. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA ALUVIJONA KOSANICE (VELIKE KOSANICE I KOSANICE) .....	120
<b>7. LABORATORIJSKE METODA ISPITIVANJA .....</b>	<b>123</b>
7.1. OPTIČKA MINERALOŠKO-PETROGRAFSKA ISPITIVANJA .....	123
7.2. RENDGENSKA DIFRAKCIONA ANALIZA .....	124
7.3. DIFERENCIJALNOTERMIČKA ISPITIVANJA (DTA) .....	125
7.4. HEMIJSKA ISPITIVANJA – ICP/MS.....	127
7.5. SKENIRAJUĆA ELEKTRONSKA MIKROSKOPIJA .....	129
7.6. GEMOLOŠKE METODE IDENTIFIKACIJE .....	129
7.6.1. <i>Određivanje indeksa prelamanja svetlosti (refraktometrija)</i> .....	130
7.6.2. <i>Određivanje specifične težine (S.G)</i> .....	130
<b>8. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE JUVELIRSKOG KAMENA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA.....</b>	<b>133</b>
<b>9. GENEZA NALAZIŠTA JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA.....</b>	<b>143</b>
9.1. HIDROTERMALNA LEŽIŠTA JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA .....	145
9.1.1. <i>Epitermalna hidrotermalna ležišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa</i> .....	146
9.1.2. <i>Teletermalna hidrotermalna ležišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa</i> .....	152
9.1.2.1. Vulkanski ahati .....	152
9.1.2.2. Silicijski sinter .....	156
9.2. LEŽIŠTA MEHANIČKIH SEDIMENATA (NANOSNA LEŽIŠTA).....	159
<b>10. EKONOMSKI TIPOVI LEŽIŠTA JUVELIRSKOG KAMENA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA .....</b>	<b>164</b>
<b>11. MORFOSTRUKTURNO-MORFOGENETSKI TIPOVI ORUDNJENJA.....</b>	<b>166</b>
<b>12. POTENCIJALNOST JUVELIRSKIH MINERALNIH RESURSA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA .....</b>	<b>168</b>
12.1. SPECIFIČNOSTI JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA .....	169
12.2. MAGMATOGENI KRITERIJUM POTENCIJALNOSTI.....	171
12.3. STRUKTURNI KRITERIJUM POTENCIJALNOSTI.....	174
12.4. LITOLOŠKI KRITERIJUM POTENCIJALNOSTI .....	179

12.5. GEOMORFOLOŠKI KRITERIJUM.....	180
12.6. GEOFIŽIČKI KRITERIJUM POTENCIJALNOSTI.....	182
12.7. INDIKATORI RUDONOSNOSTI .....	183
12.8. MINERAGENETSKA REONIZACIJA .....	186
12.9. PROGNOZNA OCENA POTENCIJALNOSTI.....	193
12.10. PROGNOZNI RESURSI JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA U LECKOM VULKANSKOM KOMPLEKSU .....	196
<b>13. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>200</b>
<b>14. LITERATURA.....</b>	<b>203</b>
<b>Prilog 1. Mineragenetska karta juvelirskih mineralnih resursa rudnog reona Lece 1:100.000</b>	
<b>Prilog 2. Prognozna karta potencijalnosti juvelirskih mineralnih resursa leckog vulkanskog kompleksa 1:100.000</b>	
<b>Biografija .....</b>	<b>211</b>

# 1. UVOD

Geološka istraživanja juvelirskih mineralnih sirovina u Srbiji, u prethodnom vremenskom periodu, nisu bila sistematska. U odnosu na većinu drugih mineralnih sirovina, vršena su u različitim vremenskim periodima, od strane manjeg broja geoloških organizacija, uglavnom sa skromnim tehničkim, laboratorijskim i finansijskim resursima. Dobijeni rezultati su, međutim, pozitivni, jer je i tako skromnim istraživanjima u terenima Srbije pronađeno više nalazišta (ležišta i pojava) pomenutih mineralnih sirovina. Pojedina ležišta ocenjena su kao ekonomski potencijalno značajna i detaljnije su istraživana. Težište tih aktivnosti bilo je na utvrđivanju osnovnih geoloških karakteristika ležišta uključujući procenu mineralnih resursa (proračun rezervi), dok je izučavanju geneze ležišta i prognozno-mineragenetskim ocenama potencijalnosti različitih geoloških sredina u opštem slučaju, posvećivano malo pažnje. Danas, posle višegodišnjih istraživanja, generalno se može zaključiti da je najveći broj juvelirskih mineralnih sirovina u Srbiji silicijskog sastava. Jedan od najznačajnijih juvelirskih regiona je, prostorno i genetski posmatrano, je vezan za tvorevine vulkanskog kompleksa Lece. Deo pomenutih nalazišta predstavlja rezultat tzv. „usputnih” geoloških otkrića pronađenih tokom istraživanja drugih mineralnih sirovina (bakra, olova, cinka, zlata i dr.), dok je samo manji deo posledica detaljnih geoloških istraživanja sprovedenih u periodu od 1980. godine do danas. Prisustvo utvrđenih pojava i ležišta juvelirskih mineralnih sirovina na prostoru vulkanskog kompleksa Lece ukazuje na značajnu potencijalnost ovog prostora u pogledu pronalaženja i proizvodnog aktiviranja novih ležišta juvelirskih mineralnih sirovina.

Viši stepen poznavanja mineralne potencijalnosti vulkanskog kompleksa Lece u pogledu juvelirskih sirovina, zahteva primenu savremenih metoda izučavanja baziranih na naučnim principima, opsežna terenska istraživanja i prateće laboratorijske i kabinetske radove. Sintetizovani i detaljno analizirani rezultati pomenutih istraživanja, kao i na osnovu njih izvedeni zaključci, predstavljaju polaznu osnovu za izbor terena za dalja geološka istraživanja, geološko-ekonomsku ocenu i proizvodno aktiviranje selektovanih ležišta. Pomenute aktivnosti predstavljale su osnovne ciljeve izrade teze „Mineragenetske

karakteristike i potencijalnost juvelirskih mineralnih resursa leckog vulkanskog kompleksa“ i, u okviru nje, realizovane.

Tokom istraživanja, sproveden je značajan obim radova koji su rezultovali pronalaskom 8 novih nalazišta juvelirskog kamena. Njihovo otkriće predstavlja posledicu studioznih izučavanja koja su obuhvatala kako polazne kabinetske radove (mineragenetska i morfostrukturalna analiza), terenske aktivnosti (geološko kartiranje, analiza kontrolnih faktora prostornog položaja juvelirskih mineralnih sirovina, analizu indikatora orudnjenosti, strukturalna izučavanja i dr.), tako i skup različitih mineraloških, geochemijskih, gemoloških i drugih izučavanja.

U cilju utvrđivanja specifičnih tehničko-tehnoloških karakteristika mineralne sirovine i uslova njihovog stvaranja, primenjene su različite laboratorijske metode ispitivanja: optičke mineraloško-petrografske, hemijske, rendgenske, DTA i skenirajuća elektronska mikroskopija. Takođe, korišćene su i specifične gemološke metode identifikacije minerala, kao što su refraktometrija i standardni metod determinacije specifične težine (gustine) hidrografskim postupkom, dok su u cilju utvrđivanja kvaliteta mineralne sirovine, primenjene metode juvelirske metode obrade i izrada nakita ručnim umetničkim metodama obrade plemenitih metala.

Nadamo se da će realizacija disertacije doprineti boljoj spoznaji potencijalnosti leckog vulkanskog kompleksa u pogledu juvelirskih sirovina i otkrivanju novih nalazišta što bi potom moglo voditi njihovom proizvodnom aktiviranju. Očekujemo da će rezultati doktorske disertacije biće značajni, ne samo za lecki vulkanski kompleks, već i za dalja istraživanja i proučavanja juvelirskih mineralnih sirovina u drugim oblastima Srbije. Takođe, nadamo se da će ova disertacija biti od pomoći pri razvoju privredne delatnosti obrade dragog kamena koja je danas kod nas skoro potpuno nerazvijena.

## 2. PREGLED RANIJIH ISTRAŽIVANJA

Prvi podaci o korišćenju juvelirskih mineralnih sirovina sa područja vulkanskog kompleksa Lece datiraju iz VI veka nove ere. Odnose se na aktivnosti graditelja Justijane Prime, koji su sa prostora Rasovače i okoline, uz eksploataciju plemenitih metala (zlata i srebra), koristili ametist i ahata. Potvrdu prethodnog predstavlja i činjenica da se na arheološkom nalazištu Justinijane prime danas nalaze brojni mozaici u čijoj je izradi korišćen ahata sa Rasovače, kao i da se u podnožju lokaliteta Rasovača, ataru sela Arsici, nalaze brojni svrtnjevi nastali eksploatacijom tih mineralnih sirovina. Na istom prostoru nalaze se i brojni odlomci pomenutih minerala koji su, najverovatnije, nastali njihovim usitnjavanjem u neposrednoj blizini primarnih nalazišta, a za potrebe pripreme materijala za izradu mozaika.

Nakon Starih Rimljana nema poznatih dokaza o korišćenju i istraživanju juvelirskih mineralnih sirovina sa prostora vulkanskog kompleksa Lece. Veruje se da je juvelirski kamen sa ovih terena mogao da bude korišćen u doba srednjovekovne srpske države ali o tome ne postoje pisani tragovi.

Sve do sredine XX veka, do 1951. godine, nije bilo značajnijeg interesa za istraživanjem i eksploatacijom juvelirskih mineralnih sirovina sa područja vulkanskog kompleksa Lece. Pomenute godine, Matejić B., tokom istraživanja ležišta zlata, olova i cinka Lece, deo pažnje posvetio je pojavama ametista i ahata na Rasovači. U kraćem izveštaju pored geološkog opisa, pomenuti autor je opisao fizička svojstva i način pojavljivanja juvelirskih mineralnih sirovina.

Godine 1953., Cissarz A. i Pešut D., takođe pišu o juvelirskim mineralnim sirovinama sa prostora Rasovače i ukazuju na njegovu mineralnu potencijalnost. Prvi pisani geološki dokument posvećen isključivo juvelirskim mineralnim sirovinama sa područja vulkanskog kompleksa Lece, potiče ih 1957. godine. Odnosi se na rad Ramovića M.— *Abati, ametisti, kalcedoni i jaspisi (rudnik Lece, planina Rasovača)* u kome se osim ametista i ahata, prvi put pominju i jaspis i kalcedon. Pored opisa osnovnih geoloških karakteristika nalazišta

pomenutih mineralnih sirovina, Ramović je ukazao i na njihov potencijalni ekonomski značaj.

Posmatrano sa aspekta mineragenetskih izučavanja juvelirskih mineralnih sirovina sa prostora vulkanskog kompleksa Lece, posebno je značajan period 1965-1966. godine. U ovom periodu detaljna geološka istraživanja juvelirskih mineralnih sirovina, a posebno izučavanja fizičko-tehničkih svojstava ametista izvršio, je Stanković S.,. Za razliku od drugih autora koji su istraživanja uglavnom vršili u neposrednoj okolini polimetaličnog ležišta Lece, Stanković je istraživanja proširio na širi rejon istoimenog rudnika

Godine 1965, nemački mineralog Boese R., boravio je u dva navrata na nalazištu Rasovača. Rezultate svojih opažanja prikazao je u dva kratka izveštaja — *Izveštaj o nalazu ametista kod Leca* i *Mišljenje o komercijalnom pitanju dobijanja ametista u Lecu*. U oba izveštaja dao je pozitivno mišljenje o juvelirskim mineralnim sirovinama nalazišta Rasovača. Boese R. je prvenstveno bio zainteresovan za ametist ali i za mogućnost eksploatacije ahata. Predložio je izradu istražnog potkopa kojim bi se bolje spoznale karakteristike pojavljivanja ametista i istovremeno pokrenula njegova eksploatacija. Istovremeno, predložio je i mogućnost poslovne saradnje koja se odnosila i na plasman ametista na inostrano tržište.

Prilikom regionalnih mineragenetskih istraživanja vulkanskog kompleksa Lece, sprovedenih 1972. godine (*Jovanović, 1973*), a posebno u periodu izrade detaljne geološke karte 1:10.000, pronađeno je više pojava juvelirskih mineralnih sirovine na prostoru koji više nije usko koncentrisan na prostor neposredne okoline rudnika Pb-Zn Lece, već se nalazi istočno od rudnika, u jugoistočnom delu vulkanskog kompleksa.

Značajna istraživanja juvelirskih mineralnih sirovina vulkanskog kompleksa Lece, sprovedena su 1974. godine pod rukovodstvom Jovanovića M. (*Jovanović, 1975a*). U tom periodu, urađeno je 120 m istražnog potkopa sa pratećim radovima i izvršena je prospekcija juvelirskih mineralnih sirovina na površini od 26 km<sup>2</sup>. Pored prikaza ostvarenih rezultata geoloških istraživanja, u odgovarajućem izveštaju, Jovanović je izvršio i tehničko-ekonomsku ocenu istraženih pojava.

Godine 1975, Jovanović M., (*Jovanović, 1975b*), vrši sintezu rezultata do tada sprovedenih geoloških istraživanja vulkanskog kompleksa Lece. U sklopu pregleda nemetalnih mineralnih sirovina sa ovog prostora, nabraja i daje kraći opis svih do tada poznatih pojava juvelirskih mineralnih sirovina.

Godine 1976. Jovanović (*Jovanović, 1976*) u *Izveštaju uz metalogenetsku kartu lista Lebane 1:100.000*, još jednom daje pregled do tada poznatih nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina vulkanskog kompleksa Lece.

U periodu 1980–1982. godina intezivirana su istraživanja juvelirskih mineralnih sirovina u jugoistočnom delu vulkanskog kompleksa Lece. Za više nalazišta — Rasovača, Čvorović, Vrtače, Bučumet (Bučumetski vis i Bučumet I) i Kameno rebro, u skladu sa tada važećim propisima, proračunate su geološke rezerve juvelirskih sirovina, a zatim je itvršena (*Pejčić M., 1980, Pejčić M. i dr., 1981a i b, Pejčić M. i dr., 1981a i b*) ekonomsko-tehnička analiza rezultata, urađeni su projekti eksploatacije i prerade rude, kao i investicioni program izrade objekata za preradu juvelirskih mineralnih sirovina. Na žalost, do realizacije pomenutih projekata nije došlo.

Geološka istraživanja su nastavljena 1984. godine (*Malešević i dr., 1985*). Posebno su značajna, jer je u tom periodu u relativnoj blizini već poznatih pojava, pronađeno i nekoliko novih. Godine 1985, objavljena je publikacija koja je dala vrlo koristan prikaz nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina Srbije (*Malešević i dr., 1985*). Naravno, u publikaciji se daje i kraći prikaz nalazišta u leckom vulkanskom kompleksu.

Tokom 1998. godine objavljena je monografija Ilića M. - *Juvelirske mineralne sirovine i njihova nalazišta u Srbiji*, kao i rad o juvelirskim mineralnim sirovinama Srbije (Ilić M. i dr. 1998) koji daje prikaz do tog trenutka poznatih pojava juvelirskih mineralnih sirovina u vulkanskom kompleksu Lece.

Ilić M., Malešević N., Pejčić M. i Miladinović Z., (1998) daju kratak prikaz juvelirskih mineralnih sirovina Srbije uključujući i njihova nalazišta na prostoru vulkanskog kompleksa Lece.

Geološka istraživanja se nastavljaju 2002. i 2003. godine od strane Geozavoda IMS i Gemološkog društva Srbije (tada pod nazivom Jugoslovensko gemološko društvo) (*Ilić i dr, 2003, Zlatanović i dr. 2004.*). Istraživanja su u ovom periodu bila skoncentrisana na jugoistočni i istočni obodni deo vulkanskog kompleksa. Istraživanja su ocenjena kao posebno značajna, jer je njima tokom njih pronađeno više novih pojava juvelirskih mineralnih sirovina nanosnog tipa.

Ilić M. 2004. godine (*Ilić M., 2004.*) objavljuje značajan rad o genezi i genetskim tipovima do tog trenutka poznatih nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina u leckom vulkanskom kompleksu.



### 3. GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Vulkanski kompleks Lece se nalazi u južnoj Srbiji, između 21° i 22° istočne geografske dužine i na 43° severne geografske širine. Zahrata površinu od preko 700 km<sup>2</sup>. Maksimalna dužina kompleksa u pravcu S-J je >40 km, a maksimalna širina oko 25 km. Administrativno posmatrano, pripada Topličkom okrugu, Jablaničkom okrugu i, manjim delom, Kosovskom okrugu. Deo vulkanskog kompleksa koji se nalazi na teritoriji Kosova nije tretiran u disertaciji, budući da mu nije bio omogućen fizički pristup. Sa druge strane, na tom prostoru geološkim istraživanjima koja su vršena do 1990. godine, nisu pronađena nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina.

Lecki vulkanski kompleks se nalazi na teritoriji 5 opština (ne uzimajući deo vulkanskog kompleksa koji je na teritoriji Autonomne pokrajine Kosovo): Kuršumlija, Prokuplje, Bojnik, Lebane i Medveđa. Stepenn naseljenosti je izuzetno nizak – iznosi oko 20 stanovnika/km<sup>2</sup>.

Šire područje vulkanskog kompleksa Lece je planinskog karaktera, sa brojnim jasno naglašenim vrhovima, koji predstavljaju tipične vulkanske kupe. Najviši vrh je Šopot (1409 m). Praćen je Sokolovim visom (1376 m), Sokolovcem (1260 m), Svetim Petrom (1152 m) i Petrovcem (1148 m). Prosečna nadmorska visina kreće se u intervalu od 500 do 800 m.

Vegetacija je jako izražena. Veliki deo kompleksa je pod gustim šumama. Uz debeli humusni pokrivača umnogome otežava direktnu terensku opservaciju.



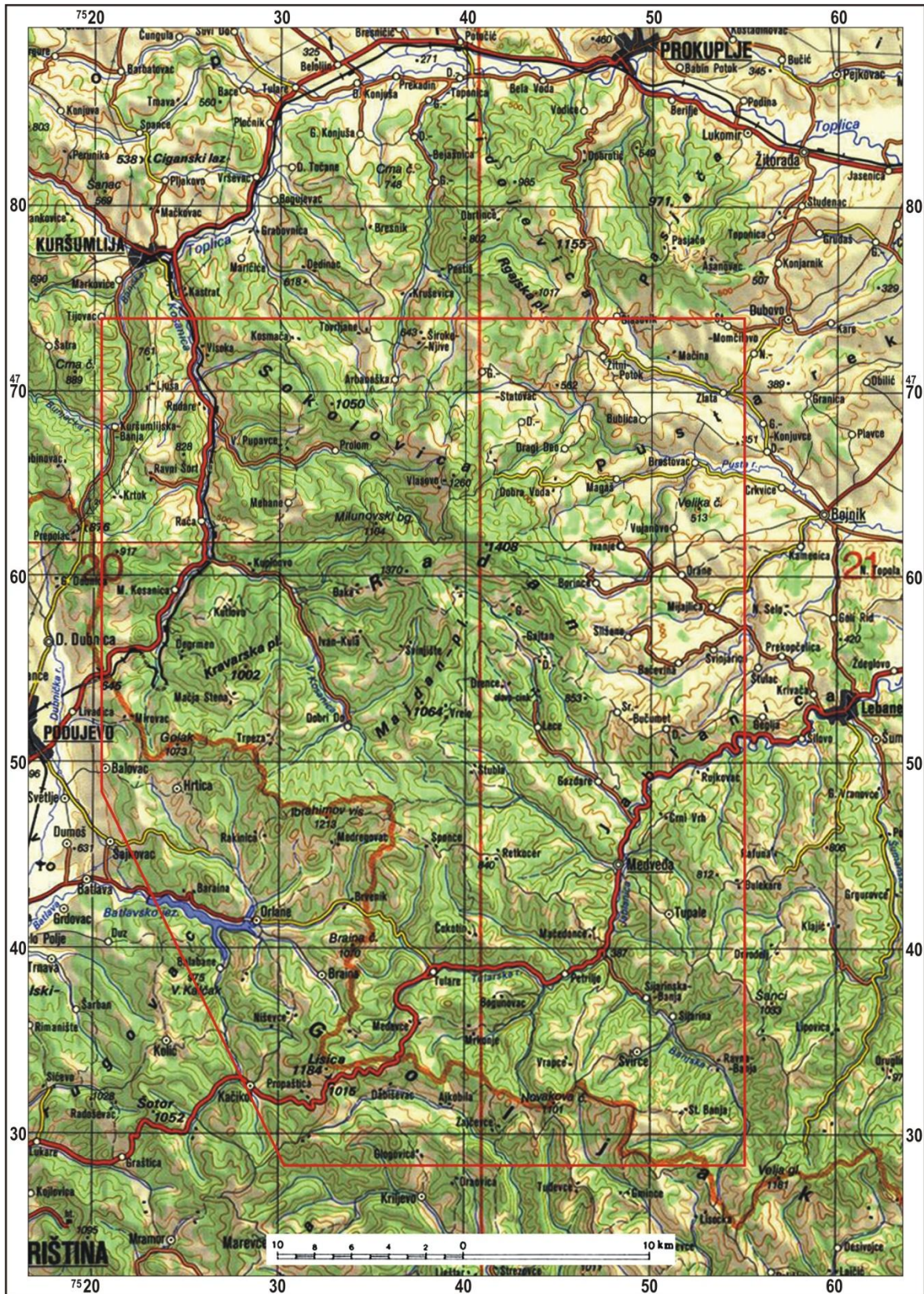
Slika 1. – Pregledna karta Srbije sa položajem istražnog prostora

Putna mreža je slabo razvijena. Ne postoji niti jedan asfaltni put kojim se može preći preko celog leckog vulkanskog kompleksa, bilo njegovom dužinom ili širinom. Najznačajniji asfaltni putevi, kroz kompleks, su: Rudare-Prolom banja, Sastavci–Dobri do (sa skoro izgrađenim krakom od Zebica do Đavlje varoši) i Negosavlje-Lece-Gajtan. Ovi putevi su povezani sa putevima od regionalnog značaja koji prolaze obodom kompleksa.

Severnim obodom kompleksa prolazi regionalni put Prokuplje-Kuršumlija, koji se nastavlja od Kuršumlije ka Podujevu, obilazeći severozapadni i zapadni deo kompleksa. Sa istočne strane vulkanskog kompleksa značajni su asfaltni putevi Lebane–Bojnik i Bojnik–Magaš. Južnim obodom kompleksa, dolinom reke Jablanice, prolazi regionalni put Leskovac–Lebane–Medveđa–Tulare. Oko kompleksa prolaze značajni regionalni putevi koji omogućavaju dobru vezu sa ostatkom Srbije, dok je mreža puteva kroz sam vulkanski kompleks prilično loša.

Na području vulkanskog kompleksa Lece se nalazi više manjih vodotokova, promenljive vodoobilnosti. Veće, stalne vodotokove čine Prolomska reka u severnom delu kompleksa, kao i Velika i Mala Kosanica u zapadnom delu kompleksa, koji kasnije formiraju Kosanicu i zajedno sa Prolomskom rekom čine deo sliva Toplice. Na jugu vulkanskog kompleksa dominira Tularska reka dok istočni deo dreniraju Lecka i Gajtanska reka. Poslednje tri pomenute reke pripadaju slivu reke Jablanice.

Klima je umereno-kontinentalna do subalpska. Prosečna godišnja temperatura je oko 6,5° C, a prosečna godišnja količina padavina iznosi oko 600 l/m<sup>2</sup>. Pojedini delovi na prostoru leckog andezitskog masiva usled prisustva termalnih izvora (Sjarinska banja) imaju specifičnu mikroklimu.



Slika 2. – Geografska karta istržnog prostora

Na prostoru vulkanskog kompleksa nalaze se dve banje sa mineralnom i termalnom vodom. Unutar samog vulkanskog kompleksa, tačnije u njegovom severnom delu, je Prolom banja. Vode Prolom Banje pripadaju niskomineralizovanim visokoalkalnim termama sa temperaturama od 26 do 31,5°C. Za lecki vulkanski kompleks vezana je i Sijarinska banja koja se nalazi na njegovom krajnjem južnom obodu. Predstavljena je većim brojem izvora čije su vode različitog hemijskog sastava (alkalne, kisele i gvožđevite) sa temperaturom od 68-76°C. Ove dve banje su ostaci i dokazi nekada mnogo intenzivnije vulkanske aktivnosti.

Od istorijskih objekata na prostoru vulkanskog kompleksa nalazi se više crkvi i groblja iz ranovizantijskog i srednjevekovnog perioda. Takođe, prisutni su i ostaci utvrđenja iz perioda srednjevekovne srpske države (Ivan kula), kao i ostaci rudarenja iz Rimskog i srednjevekovnog perioda. Na istražnom prostoru nalazi se i značajan spomenik prirode — *Davolja varoš*. Ovaj prirodni spomenik čine dva, u svetu retka, prirodna fenomena: zemljane figure, kao specifični oblici reljefa koji u prostoru deluju vrlo atraktivno, i dva izvora jako kisele vode sa visokom mineralizacijom. Pomenuti stomenici kulture i prirode se ne nalaze u domenu izučavanih nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina.

## 4. GEOLOŠKA GRAĐA I STRUKTURNE KARAKTERISTIKE LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

### 4.1. GEOLOŠKA GRAĐA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Vulkanski kompleks Lece u mineragenetskom smislu predstavlja izuzetno značajno, ali nedovoljno izučeno područje Srbije. Pored nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina, na ovom prostoru se nalaze i značajni resursi obojenih i plemenitih metala različitih genetskih tipova i uslova stvaranja, a koji duži niz godina predstavljaju predmet interesovanja brojnih istraživača. Geološka građa kompleks, međutim, kao i njegove vulkanološke karakteristike, još uvek nisu izučene do detalja. Posebno su značajna izučavanja koja su sprovedena u vreme izrade Osnovne geološke karte SFR Jugoslavije, 1:100.000, kao i istraživanja koja je sproveo Pešut (*Pešut D.*, 1965, 1976).

Vulkanski kompleks Lece (u stručnoj literaturi je poznat i pod nazivom Slišanski ili Radanski kompleks), nastao je duž regionalnih dislokacija između zapadnih obodnih delova Srpsko-makedonske mase i ultramafita Vardarske zone. Produkti vulkanizma pokrili su kristalaste škriljce Srpsko-makedonske mase, kredne sedimente i delom jurske serpentinite koji se nalaze u podlozi gornjo-krednih sedimenata.

U sastavu leckog vulkanskog kompleksa dominiraju stene andezitskog sastava i njihovi piroklastiti. Smatra se da je početak vulkanske aktivnosti vezan za gornji oligocen. Među andezitima su izdvojene dve osnovne grupe stene: amfibolski i piroksenski andeziti. Osim njih i njihovih piroklastita, u mnogo manjoj meri, prisutni su i daciti i latiti. Određivanje početka vulkanske aktivnosti izvršeno je posredno na osnovu smenjivanja tufova i vulkanskih breča sa sedimentima strezovačkog, tularskog i račansko-orlovačkog basena.

U centralnom delu vulkanskog kompleksa Lece preovlađuju andeziti, a u obodnim delovima istog - piroklastične tvorevine. Andezitske stene se nalaze u vidu velikih masa nepravilnog oblika, ali i kao orijentisani žični nizovi. Sadašnji izgled većih masa andezita nepravilnog oblika, koje predstavljaju izlive, odnosno slivove, uslovljen je morfologijom paleoreljefa i viskozitetom magme. Žični andezitski nizovi su najmlađi andezitski članove; najzastupljeni su u severnom delu kompleksa, posebno u delu severno od Prolomske reke.



Slika 3. – Slivovi andezita koji se preslojavaju sa piroklastitima. Dolina Velike Kosanice, blizu sela Zebice.

Andezitske stene se donekle mogu međusobno razlikovati i makroskopski. Te razlike se ogledaju u njihovoj boji, sklopu, obliku pojavljivanja i prisutnim facijama alteracije. Najvećim delom andeziti su sive boje u različitim nijansama. Boja im zavisi od količinskog učešća bojjenih sastojaka u steni, kao i od kristaliniteta osnovne mase. Boja andezita varira od sive do tamno sive, skoro crne boje. Veličina feldspata i bojjenih sastojaka takođe značajno varira. U nekim slučajevima kristali feldspata i hornblende dostižu dimenzije od par centimetara, dok ih je ponekad teško makroskopski uočiti. Porfirska struktura je, ipak, najčešće vrlo jasno izražena.

U **amfibolske andezite** ubrojaju se: hornblenda andeziti, hornblenda-biotitski andeziti, hornblenda-piroksenski andeziti, hornblenda-piroksenski andeziti sa biotitom, prelazni tipovi prema dacitima.

U **piroksenske andezite** leckog vulkanskog kompleksa svrstavaju se augitski andeziti, augit-hiperstenski andeziti, prelazni tipovi prema dacitima i andezit-bazalti.

### 4.1.1. Amfibolski andeziti

Amfibolski andeziti su najzastupljenije članove vulkanskog kompleksa Lece. Posebno su zastupljeni u severnim, severozapadnim i zapadnim delovima kompleksa gde grade veće mase nepravilnih oblika sa jasno izraženom porfirskom strukturom. Relativno često su fluidalne teksture, nastale kao posledica jasno izražene paralelne orijentacije feldspata i amfibola. Mnogo manje su zastupljeni nizovi žičnih tvorevina koje se javljaju u okviru gorepomenutih većih stenskih masa. Naglašeni su pravci pružanja SSZ–JJI i Z–I. Osim žičnog načina pojavljivanja karakterišu se i manje izraženom porfirskom strukturom, tamnijom bojom i priličnom jedrinom. Osim feldspata i amfibola javljaju se i kristali piroksena i biotita.

Među amfibolskim andezitima lokalno se može naići na krupne fenokristale biotita. Minerali iz grupe piroksena su podređeni; uglavnom se nalaze u vidu mikrolita u osnovnoj stenskoj masi. Poznati su, takođe, i varijeteti andezita raznih nijansi sive boje holokristalasto-porfirske strukture, zbog čega se razlikuju od većine andezitskih stena hipokristalasto-porfirske strukture. Tamnosivi predstavnici amfibolskih andezita sadrže fenokristale feldspata, piroksena i amfibola znatno manjih dimenzija. Još jedna od karakteristika ove grupe andezitskih stena je da procesima alteracije bivaju znatno češće i intenzivnije zahvaćeni svetlo sivi nego tamno sivi varijeteti.

#### 4.1.1.1. Hornblenda andeziti

Hornblenda andeziti su najrasprostranjeniji u severnim, severozapadnim i zapadnim delovima vulkanskog kompleksa Lece. Ime su dobili po hornblendi koja predstavlja dominantnu mineralnu vrstu. Sadržaj ostalih bojenih minerala varira u širokom dijapazonu.. Fragmenti ovih andezita javljaju se često u piroklastitima, posebno u ranije pomenutim oblastima. Veličina ovih fragmenata je od nekoliko centimetara do 1,5 m. Osim toga, na velikom prostoru čine cementnu masu piroklastičnih tvorevina.

Hornblenda andeziti bili su među prvim produktima efuzivne vulkanske aktivnosti, pri čemu su izlivenne ogromne mase koje su naknadno dosta izmenjene delovanjem erozije i tektonske aktivnosti.



Ranije pomenuta fluidalna tekstura javlja se samo u hornblenda andezitima. U mineralnom sastavu ovih stena dominiraju plagioklas i hornblenda. Biotit i hlorit su podređeni sastojci, dok su apatit, magnetit i cirkon akcesorni minerali. Mineralni sastav hornblenda andezita može da varira, pri čemu se promene uočavaju u okviru iste stenske mase na kratkim rastojanjima. Promene sastava se, uglavnom, ogledaju u sniženom procentualnom učešću anortitske komponente u plagioklasima, prisustvu bazaltske hornblende, povećanim učešćem piroksenskih mikrolita u osnovnoj masi i sl.

#### 4.1.1.2. Hornblenda-piroksenski andeziti

Izdvajanje ovih stena kao posebnog varijeteta vulkanskog kompleksa Lece moguće je na osnovu makroskopskih karakteristika i na osnovu mikroskopski utvrđenih razlika u mineralnom sastavu. Dominantno su porfirske strukture, tamno-sive boje sa fenokristaima feldspata i amfibolima manjih dimenzija. Nalaze se na prostoru Petrove gore, Radana, u dolini Prolomske reke, na Arbanaškoj planini, Sokolovici i u dolini Kosanice gde grade izlive i žična tela značajne dužine. Kada se radi o izlivima, prelazi ka hornblenda andezitima su postepeni, dok su kod žičnog oblika njihove granice prema okolnim stenama su jasno izražene. U pogledu mineralnog sastava hornblenda-piroksenski andeziti kao osnovnu razliku u odnosu na prethodni varijetet imaju povećano učešće piroksena. Struktura im je hipokristalasto porfirska.

#### 4.1.1.3. Hornblenda-piroksen-biotitski andeziti

U odnosu na druge varijetete amfibolskih andezita u vulkanskom kompleksu Leca, hornblenda-piroksen-biotitski andeziti su manjeg rasprostranjenja. Najveće mase pomenutih stena uočene su zapadno od Kosanice (Sokolovica), oko Kravarskog visa i Trpeske glavice. Granice prema hornblenda andezitima nisu jasno izražene.

Boja hornblenda-piroksen-biotitskih andezita je tamno-siva. U njima se makroskopski uočavaju relativno mali fenokristali feldspata, biotit i hornblenda. Bitni sastojci su plagioklasi, amfiboli, pirokseni i biotit, dok su sporedni sastojci apatit i cirkon.

Prokseni su podređeni. Predstavljani su fenokristalima augita i hiperstena. Sadržaj biotita količinski odgovara sadržaju amfibola i odlikuje se krupnim fenokristalima.

#### 4.1.1.4. Prelazni tipovi ka dacitima

Prelazne varijetete amfibolskih andezita ka dacitima čine hornblenda andeziti i hornblenda-piroksenski andeziti. Na listovima Osnovne geološke karte SFR Jugoslavije 1:100.000, koji zahvataju prostor leckog vulkanskog kompleksa (listovi – Kuršumlija, Niš, Leskovac i Podujevo), izdvojeni su kao hornblenda andeziti sa kvarcom ( $\alpha\text{hq}$ ) i hornblenda-piroksenski andeziti sa kvarcom ( $\alpha\text{hpyq}$ ). Makroskopski se teško razlikuju od ranije pomenutih varijeteta andezita. Za razliku od ostalih varijeteta andezitskih stena, sadrže oko 1% kvarca u vidu sitnih, prilično resorbovanih kristala.

#### 4.1.2. Piroksenski andeziti

Piroksenski andeziti su značajan član vulkanskog kompleksa Lece. U odnosu na amfibolsku grupu stena nižeg su stepena zastupljenosti. Od amfibolskih andezita se razlikuju po tome što u njihovom sastavu dominiraju minerali piroksenske grupe.

Piroksenski andeziti se nalaze u različitim delovima kompleksa; Najzastupljeniji su u severnom delu masiva, u gornjem toku Prolomske reke i u gornjem toku Kosanice, u graničnom pojasu ka Kosovu. Grade prostrane mase, slivove, tela nepravilnih oblika i manje mase izduženih oblika, najčešće zonarnog načina pojavljivanja sa često izraženom orijentacijom pravsa SSZ–JJI i I–Z. Moćnost piroksenskih andezita oblika žica je par desetina metara, a zona preko 100 metara.

Na osnovu čestih proboja piroksenskih andezita kroz amfibolske andezite može se zaključiti da piroksenski andeziti predstavljaju mlađe članove vulkanskog kompleksa. Takođe, mogu se smatrati prelazom ka andezit-bazaltima. Za razliku od Pešuta (1965, 1976) autori koji su se bavili izradom Osnovne geološke karte na prostoru leckog vulkanskog kompleksa ne izdvajaju andezit-bazalte kao posebne varijetete u građi kompleksa, već

smatraju da oni predstavljaju varijacije u andezitima i izdvajaju ih kao labradorske andezite ( $\alpha$ la).

Piroksenski andeziti, za razliku od amfibolskih, nisu u visokom stepenu hidrotermalno izmenjeni, Značajnije transformacije mineralnog sastava i habitusa stene, predstavljaju, posledicu procesa fizičke dezintegracije. Tamnosive su, skoro crne boje, po čemu se lako razlikuju od starijih andezitskih varijeteta.

Minerali piroksenske grupe su predstavljeni augitom ili hiperstenom. U zavisnosti od toga koji od pomenutih minerala u njima preovlađuje, isti se svrstavaju u grupe augitskih ili hiperstenskih andezita. Njihovo magkroskopsko izdvajanje na terenu je, međutim, teško. U mineralnom sastavu piroksenskih andezita redovno učestvuju i amfiboli, ali je njihovo prisustvo podređeno. Biotit je redak mineral. Struktura piroksenskih andezita je hipokristalasto porfiriska. Zbog pojavljivanja kvarca, uglavnom u vidu resorbovanih fenokristala i sitnih zrna, mogu se izdvojiti i prelazni varijeteti piroksenskih andezita ka dacitskim stenama, mada su ovi slučajevi znatno ređi nego što je to kod amfibolskih andezita.

### 4.1.3. Andezit bazalti

Na većini geoloških karata vulkanskog kompleksa Lece andezit-bazalti nisu jednoznačno izdvojeni. Tako na primer, na listovima Osnovne geološke karte SFR Jugoslavije koji obuhvataju lecki vulkanski kompleks i u pratećim tumačima, oni nisu izdvojeni kao posebna jedinica. Na geološkoj karti čiji je autor Pešuta (1965, 1976), oni su, međutim, izdvojeni kao bitni članove andezitskog vulkanskog kompleksa, što smatram ispravnim.

Najčešće pojavljivanje andezit-bazalta u leckom vulkanskom kompleksu vezano je za piroksenske andezite. Nalaze se u vidu slivova, tela nepravilnih oblika i različitih dimenzija. Andezit-bazalti se poznati i u drugim članovima kompleksa, posebno u piroklastičnim tvorevinama.

Andezit-bazalti su obično sveže stene, izrazito tamno-sive do potpuno crne boje. Često su školjkastog preloma. Sasvim sveži, nepromenjeni andezit-bazalti, imaju malo

vidljivih i krupnih fenokristala. U njihovom mineralnom sastavu dominiraju bazični plagioklasi, najčešće labrador. Skoro redovno dolazi do smanjenja veličine fenokristala, preko mikrofenokristala sve do mikrolita. Rombični piroksen je razvijen u vidu fenokristala i mikrofenokristala. Monoklinični piroksen se nalazi u vidu mikrofenokristala i mikrolita. Od amfibola je poznata bazaltska hornblenda, najčešće transformisana u sitnozrnu mešavinu magnetita i kalcita. Biotit je redak mineral. Osnovna masa stene sačinjena je od mikrolita plagioklasa i transformisanih bojanih sastojaka stakla i mnogobrojnih sočiva sekundarnog kvarca.

#### 4.1.4. Daciti

Daciti su niskog stepena zastupljenosti u vulkanskom kompleksu Lece. Najzastupljeniji su u blizini Ivan kule i duž Rasovačkog potoka gde grade manje mase, ali i u blizini Sijarinske banje, u vidu manjih proboja. Od andezita se razlikuju po povišenom učešću kvarca i prisustvu nešto kiselijih plagioklasa.

Sadržaj anortitske komponente u dacitima se kreće od 40-50%. Kvarcnih fenokristala ima malo, a zrna kvarca su prilično zaobljena. Bojeni sastojci su hornblenda, augit i biotit; nalaze se u različitim količinskim odnosima. Magnetit i apatit su sporedni minerali. Osnovna masa stene je felsitska do hijalopilitiska. Kao mikroliti prisutni su plagioklasi i podređeno bojani sastojci. Prisutan je i felsitski kvarc.

#### 4.1.5. Latiti

Latiti su u vulkanskom kompleksu Lece izuzetno retki. U većini slučajeva grade manje ekstruzivne mase porfirskih stena masivne teksture, koje su po sastavu i hemizmu slične andezitima. U njihovom mineralnom sastavu preovlađuju plagioklasi, sanidin, hornblenda i biotit; u mikrokristalnoj osnovi zabeleženo je i prisustvo kvarca. U odnosu na andezite, sadrže nešto više alkalija .

#### 4.1.6. Piroklastične stene

Piroklastične tvorevine su na prostoru leckog vulkanskog kompleksa jako zastupljene. Prema Pešutu (1976), zahvataju preko 40% celokupnog masiva. Najzastupljenije su njegovim obodnim delovima gde čine granični pojas između vulkanskih stena i okolnih raznovrsnih geoloških tvorevina (kristalinika Jablanice, krednih tvorevina).

Generalno posmatrano, moguće je izdvojiti tri zone sa preovlađujućom zastupljenošću piroklastita: a) severni i severozapadni obod kompleksa, b). istočni deo kompleksa (oblast Petrove gore) i c) jugozapadni deo kompleksa (područje oko Orlana). U jugozapadnoj zoni, za razliku od drugih, a posebno u odnosu na severnu zonu, dominiraju tufovi. Pored ovih velikih obodnih zona, na području leckog kompleksa, a naročito u njegovom centralnom delu, nalazi se i više izolovanih masa piroklastita, različitih dimenzija.

U pojedinim delovima vulkanskog kompleksa uočavaju se naizmenična smenjivanja lavičnih izliva sa piroklastičnim materijalom.



Slika 4. – Piroklastiti na prostoru Bučumeta

Piroklastične tvorevine leckog vulkanskog kompleksa predstavljene su vulkanskim brečama, vulkanskim aglomeratima i tufovima. Vulkanski aglomerati su neuporedivo manje zastupljeni od vulkanskih breča i tufova. Osim slabije vezanih, rastresitih i naknadno vezanih piroklastita javljaju se i sinterovani predstavnici. Debljina piroklastičnih serija kreće

se od nekoliko metara, u višim delovima, do 100 metara, u nižim delovima vulkanskog kompleksa. Veličina fragmenata, odnosno projekcionog materijala, u piroklastitima je od milimetarskih dimenzija do preko jednog metra.

U sastavu piroklastita, odnosno vulkanskim brečama i konglomeratima, dominiraju hornblenda andeziti. Ostali varijeteti amfibolskih andezita su podređeni. Augit-hiperstenski andeziti i andezit bazalti se ne nalaze u vidu projekcionog materijala u piroklastitima. Značajnih odstupanja u mineralnom sastavu fragmenata vulkanskih breča u odnosu na pomenute andezitske varijetete nema. Fenokristali feldspata su predstavljeni plagioklasima koji su ispucali i transformisani u kalcit i kaolinit. Amfiboli su predstavljeni hornblendom idomorfno oblika. Biotit je redak mineral. Magnetit je u vulkanskim brečama raspršen po celokupnoj stenskoj masi u vidu jako sitnih zrna. Osnovna masa vulkanskih breča je hipokristalasta i izgrađena je od feldspata, hlorita i, retko, kvarca sekundarnog porekla.

U mineralnom sastavu tufova učestvuju: plagioklas, kvarc, biotit, amfibol i oksidi gvožđa. Svi ovi minerali čine vrlo fino sitnozrnu osnovu u kojoj se javlja još i devitrifikovano staklo i sericit.

#### 4.1.7. Kvarcne razlomne zone

Razlomne zone ispunjene kvarcom odnosno silicijskim mineralima – kvarcom, kalcedonom, jaspisom i u najmanjoj meri opalom, predstavljaju važnu geološku sredinu na ispitivanom prostoru sa stanovišta juvelirskih mineralnih sirovina. Njihov značaj je veliki i sa stanovišta prostorne lokalizacije polimetalne mineralizacije. U nekim od ovih razlomnih zona utvrđeno je prisustvo ležišta juvelirskih mineralnih sirovina.

Kvarcne razlomne zone su zbog svog sastava, rezistentnije na raspadanje u odnosu na druge članove kompleksa, tako da na površini terena formiraju izražene pozitivne forme reljefa; one su, ujedno, vrlo značajne prospekcijske indicije.



Slika 5. – Primer kvarcne razlomne zone koja formira istaknutu (pozitivnu) formu reljefa. Greben brda Rasovača.

Ranije usvojeni i opšteprihvaćeni termin kvarcno-brečaste zone nije primenljiv na sve zone razlamanja andezita koje su ispunjene silicijskim mineralima. Neke od ovih zona su jako brečizirane sa jačom ili slabijom limonitizacijom. U pojedinim zonama, međutim, nema brečizacije. Neke od tih razlomnih zona sadrže juvelirske mineralne sirovine – ahat i kvarc, dok su druge skoro masivne i izgrađene od sivobeke homogene silicijske mase. Takođe, postoje i zone izgrađene od šupljikavog kvarca, gde su osnovne stene skoro potpuno silifikovane, pri čemu se uočavaju šupljine nastale pri izluživanju minerala. Treba pomenuti i zone ispunjene „saharoidnim” kvarcem, takođe bez jasno izražene brečizacije. Zbog svega gore navedenog, mišljenja smo da termin "kvarcno-brečaste zone" treba primenjivati samo u slučajevima kada se radi o zonama u kojima je došlo do višestrukog intezivnog fragmetiranja okolnih stena, uz višefazno cirkulisanje hidrotermalnih rastvora silicijskog sastava iz kojih je deponovan kvarc koji je cementovao fragmentirani materijal. U ostalim slučajevima, može se govoriti o kvarcnim razlomnim zonama ili o kvarcnim žicama (Jovanović M. i dr., 1972).



Slika 6. – Jasno izražen rif kvarcne razlomne zone u blizini rudnika Lece. Kvarcno-brečasta zona Šuta-Rasovača.

Juvelirske mineralne sirovine se nalaze, kako u kvarcno-brečastim, tako i u razlomnim zonama u kojima nema izražene brečizacije.

Veličina razlomnih zona značajno varira. Neke od zona su po pružanju prosleđene na dužini od oko 6 km, dok su druge dužine do nekoliko desetina metara. Samim tim i širina zona je u širokom opsegu – od decimetarskih dimenzija do 50 m. O generalnom pravcu pružanja silifikovanih razlomnih zona je teško govoriti. Jedan od dominantnih pravaca pružanja je SSZ-JJI, odnosno SZ-JI. Postoje i sistemi upravni na ovaj pravac najraznovrsnijih orijentacija, što se posebno ogleda na primeru zone na Majdan planini, gde se žice granaju od jednog centra zrakasto u svim pravcima.

Mineralni sastav kvarcnih žicama je različit. U pojedinima od njih dominira kvarc, dok je u drugima najviše zastupljen kalcedon, odnosno ahat, tako da se može govoriti i o ahatnim žicama. Međutim, ukoliko se kalcedon, kao i jaspis i opal u mineraloškom pogledu svrstaju u grupu kvarcnih minerala, odnosno varijeteta kvarca, naziv kvarcna žica ili kvarcna razlomna zona može da podrazumeva sve ranije pomenute razlomne zone.

Oko razlomnih zona uočavaju se hidrotermalne promene okolnih stena – andezita i njihovih piroklastita. Od facija hidrotermalnih alteracija dominiraju kalijaska metasomatoza zatim silifikacija, kaolinizacija i sericitizacija (*Karamata S.*, 1971).

Proces kalijске metasomatoze dovodi do promena u stenama koje su tada izgrađene skoro isključivo od sanidina, metasomatski obrazovanog po fenokristalima i mikrolitima plagioklasa, i sitnozrnog kvarca sa glinovitim mineralima u osnovnoj masi. Po hemizmu



ovakvo promenjene stene se značajno razlikuju od andezita. U takvim stenama sadržaj  $K_2O$  dostiže desetak procenata, dok su kalcija, natrija i magnezija potpuno izluženi, a gvožđe pretežno. Ovakvo promenjene stene se mogu tretirati kao K-metasomatske trahitoidne stene.

## 4.2. STRUKTURNE KARAKTERISTIKE LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Lecki vulkanski kompleks se nalazi u graničnom području dve krupne geotektonske jedinice — Srpsko-makedonske mase i Vardanske zone. Dve su regionalne razlomne strukture od velikog značaja za nastanak ovog vulkanskog masiva. Prvu strukturu predstavlja Tupalska dislokacija koja se pruža preko istočnog dela leckog masiva, nastavljaajući se preko tupalske andezitske mase i dalje preko Bujanovačkog masiva. Drugu regionalnu razlomnu strukturu čini Merdarska dislokacija koja se pruža zapadnim obodom masiva pravcem Strezovce–Dražnja–Kravari–Kuršumlja.

Pomenute dubinske razlomne strukture bile su aktivne u dugom vremenskom periodu (više puta je dolazilo do njihove reaktivizacije) što je predstavljalo jedan od presudnih faktora u kontroli vulkanskih procesa i naknadnog formiranja ležišta mineralnih sirovina. Podloga leckog vulkanskog kompleksa, koju čine delovi Srpsko-makedonske mase i Vardanske zone, karakteriše se složenom geološkom istorijom, što je, naravno, imalo uticaja na obrazovanje specifičnih strukturnih odlika nakanadno formiranog vulkanskog masiva. Prema Pešutu (*Pešut, 1976*), sklop podloge vulkanskog kompleksa formiran je u vezi sa deformacijama koje najverovatnije pripadaju variscijskoj orogenezi. Tada su stvoreni prostrani antiklinorijumi i sinklinorijumi, zone kraljuštanja, dislokacione zone sa nizom razlomnih struktura i brojnim manjim rasedima i pukotinama. Duž postojećih razlomnih struktura u toku alpske orogeneze dolazi do ekstruzije vulkanita i piroklastita leckog masiva. Nakon očvršćavanja glavnine andezitskih stena stvaraju se novim tektonskim pokretima prostrane razlomne strukture longitudinalnog i transverzalnog karaktera. Ovi tektonski pokreti bili su učestali i omogućili su stvaranje brečastih zona i višestruko privođenje

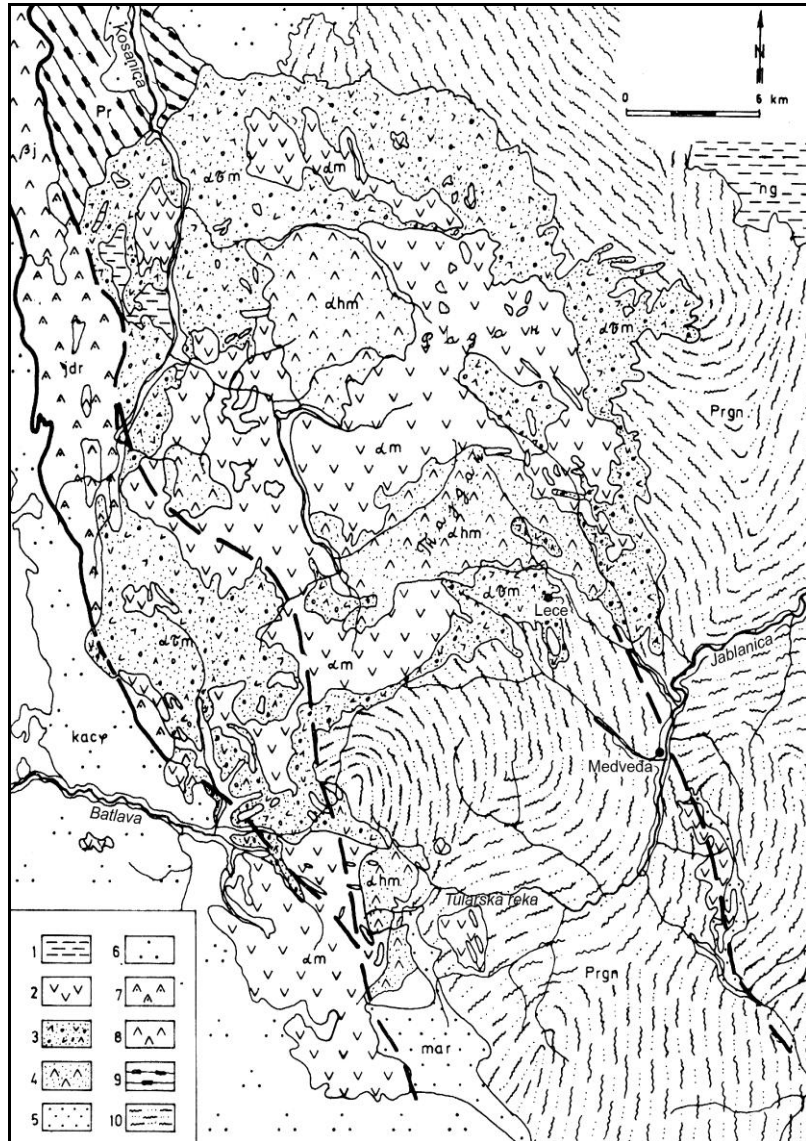
hidrotermalnih rudonosnih rastvora. Postojeće oslabljene zone iskoristili su završni produkti vulkanske aktivnosti – piroksenski andeziti (zajedno sa andezit-bazaltima) formirajući žične proboje. Nakon ove faze ne dolazi do potpunog smirivanja tektonske aktivnosti. Ona je sada značajno slabijeg intenziteta dovodeći do formiranja manjih transverzalnih razloma.

U okviru samog leckog vulkanskog kompleksa mogu se izdvojiti tri glavna pravca razlamanja. Najpre se mogu izdvojiti razlomni sistemi generalnog pravca SSZ–JJI. Ovom pravcu prvenstveno odgovaraju regionalne, ranije pomenute, dislokacije — Tupalska i Merdarska. Za ove markantne dubinske višestruko reaktivirane razlome vezani su glavni i sekundarni vulkanski centri — npr. Braina i Kravari za Merdarsku, a Tupalski vis, Sveti Petar i Šopot za Tupalsku dislokaciju (*Serafimovski, 1993*).

Drugi generalni pravac razlomnih struktura u leckom vulkanskom kompleksu je I–Z. Ovi razlomi delom presecaju i pomeraju starije rasede, kao i strukture vulkanskih aparata, a istovremeno predstavljaju kvarcne razlomne zone za koje su vezana orudnjenja (npr. Brajšor, Đavolja varoš, Tulare).

Treći pravac je pružanja SSI–JJZ; predstavlja najmlađe rasedne strukture budući da preseca i pomera ranije pomenute razlome i već formirane koncentrično lučne strukture u vezi sa vulkanskim aparatima.

U leckom vulkanskom kompleksu su osim brojnih razlomnih struktura prisutne iraznovrsne strukture vezane za procese vulkanizma — vulkanski aparati, kaldere, kupe, dajkovsko-nekovske strukture i dr. Najstarije faze u formiranju leckog vulkanskog kompleksa podrazumevaju formiranje stratovulkana, koji su naknadnim vulkanskim erupcijama i drugim procesima bili razoreni, što je dovelo do formiranja kaldera. U okviru leckog vulkanskog kompleksa razni autori (npr. *Jovanović i dr., 1972, Serafimovski 1993*) su izdvojili 3 velike kaldere: Gajtansku, Đavoljevarošku i Tularsku. Nakon formiranja kaldera dolazi do raznovrsnih procesa u njima i na kraju do konsolidovanja kompleksa.



Slika 7. – Pregledna geološka karta leckog vulkanskog kompleksa sa pružanjem regionalnih dislokacija (Milovanović i Čirić, 1970; iz *Serafimovski*, 1993)

Legenda: 1. neogeni sedimenti; 2. andeziti; 3. tufovi; 4. hidrotermalno-izmenjeni andeziti; 5. andezit-rožnačka formacija; 6. kredni fliš; 7. dijabaz-rožnačka formacija; 8. dijabazi, doleriti, spiliti; 9. serija gvožđevitih škriljaca; 10. gnajsevi.

Početak vulkanske aktivnosti u gornjem oligocenu vezan je za obrazovanje stratovulkana, izgrađenih od lavičnih izliva i piroklastita. U delu koji se nalazi bliže centru erupcije, količina slivova i piroklastita je podjednaka, pri čemu su piroklastiti predstavljeni krupnozrnim vulkanskim brečama. Na taj način su formirani stratovulkani sa pretpostavljenom debljinom pomenutih produkata od preko 1000 m. Tome u prilog govori savremena debljina vulkanskih produkata u području gajtanske kaldere od preko 700 m. Očekivano, debljina vulkanskih produkata se smanjuje sa udaljavanjem od vulkanskog

centra. Takođe, dolazi do manje zastupljenosti lavičnih slivova u odnosu na piroklastite, uz istovremenu veću zastupljenost sitnijih fragmenata u piroklastitima.

Razaranjem stratovulkana dolazi do formiranja kaldera. Smatra se da je među najvećim kalderama leckog vulkanskog kompleksa najstarija gajtanska; za njom sledi đavoljevaroška i kao najmlađa — tularska kaldera. Najbolje očuvani delovi kaldera su na Petrovoj gori (gajtanska kaldera), zatim Sokolovici i Markovom visu (đavoljevaroška kaldera).

U pomenutim kalderama formirani su novi, manji stratovulkani i, naknadno, njihove manje kaldere. Dimenzije kaldera se značajno razlikuju — od jednog kilometra, preko desetak kilometara, do čak 30-ak kilometara u prečniku (*Jovanović i dr.*, 1972). Dna kaldera su dejstvom vulkanskih procesa izdizana i slegana, zatim deformisana mlađom tektonikom i konačno uobličena erozionim procesima, posebno rečnom erozijom. Pouzdano određivanja visina kaldera nije praktično moguće zbog znatnog uticaja erozije na njihove zidove kao i zbog uzdizanja i spuštanja unutar same kaldere. Danas je najviša visinska razlika između vrha kaldere i njenog dna utvrđena na Petrovoj gori, delu gajtanske kaldere i iznosi preko 350 m (*Jovanović i dr.*, 1972).

U završnim fazama vulkanske aktivnosti dolazilo je do potisaka naviše u već konsolidovanim delovima masiva, što je dovelo da izdizanja dna kaldera u vidu doma i stvaranja zrakastih sistema pukotina (Majdan planina). Duž tih sistema pukotina dolazi kasnije do cirkulisanja hidrotermalnih rastvora i do obrazovanja kvarcnih razlomnih zona, a u njihovoj okolini do alterisanja okolnih stena. Značajan uticaj na konačni izgled leckog vulkanskog kompleksa imala je intenzivna mlađa tektonika. Njenim dejstvom dolazi do značajnog uobličavanja pojedinih kaldera. Dobar primer ove tektonske aktivnosti je horizontalni rased koji je razorio severno krilo tularske kaldere; takođe, dolazilo je do naknadnih kretanja u već postojećim razlomnim zonama.

Izučavanjem strukturne građe leckog vulkanskog kompleksa bavio se veći broj autora. Među najznačajnijim doprinosima poznavanju strukturnih karakteristika su zaključni radovi Pešuta (*Pešut*, 1976), Jovanovića i dr. (*Jovanović i dr.*, 1972) i Serafimovskog (*Serafimovski*, 1993). Najdetaljniju analizu strukturnih karakteristika leckog vulkanskog kompleksa (sl. 9) dao je Serafimovski, koji je osim već ranije utvrđenih velikih kaldera — gajtanske, đavoljevaroške i tularske, izdvojio i više manjih. Te manje kaldere su locirane

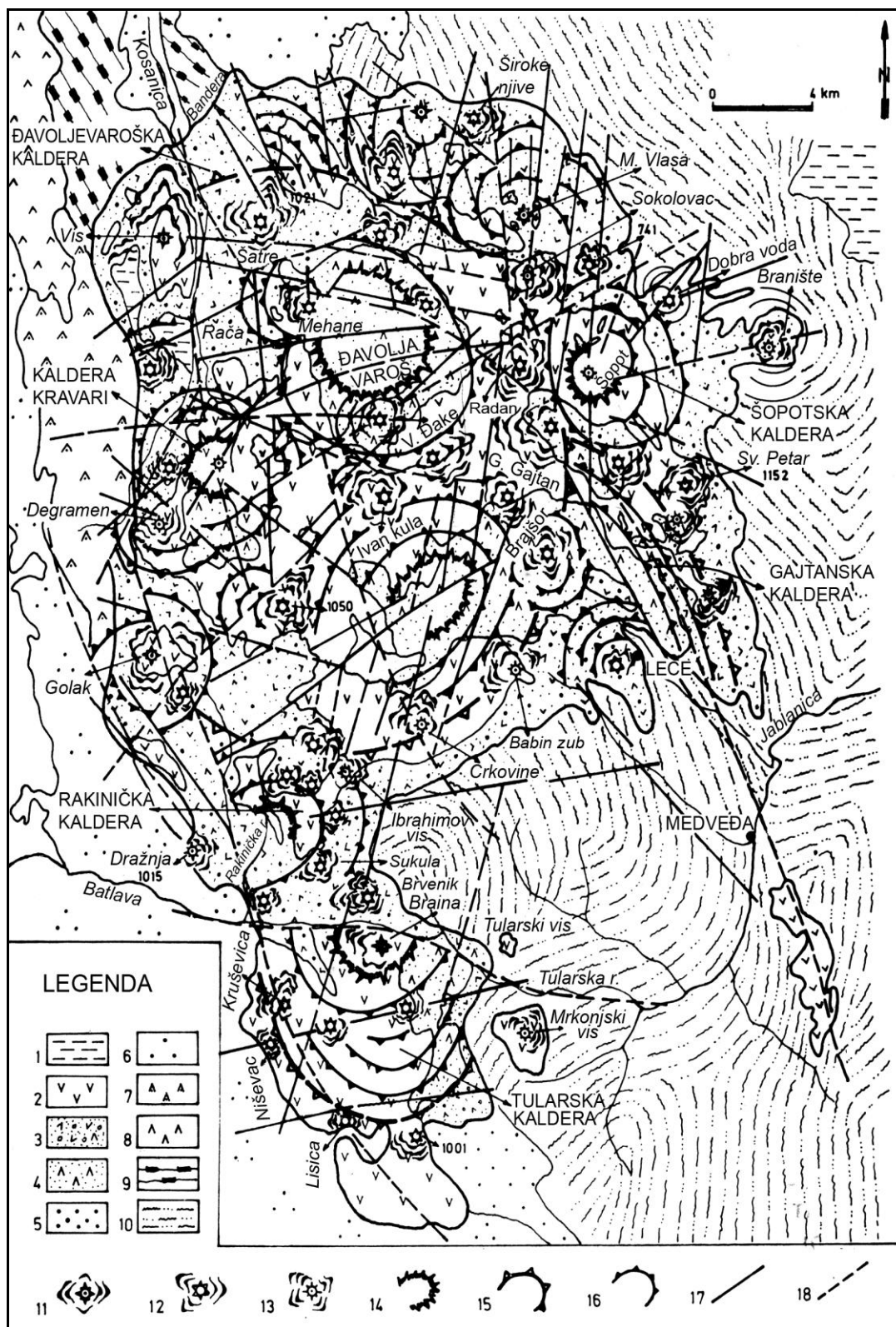
unutar već postojećih, većih kaldera (npr. Kravari, Đavolja varoš-2, Ivan kula) ali i u njihovoj neposrednoj okolini (npr. Rakinačka i Šopotska kaldera).

*Gajtanska kaldera* — Gajtanska kaldera predstavlja najstariju kalderu u vulkanskom kompleksu Lece. U odnosu na ostale kaldere, najviše je razorena naknadnim procesima formiranja mlađih vulkanskih centara i njihovih kaldera, tektonskim pokretima i erozijom. Danas se može uočiti samo istočni deo ove kaldere u području Petrove gore. Pretpostavlja se da su zapadni i severni deo kaldere uništeni prilikom formiranja đavoljevaroške kaldere, dok je južni deo iste erodovan.



Slika 8. — Gajtanska kaldera, Petrova gora.

Na otvorenim profilima je jasno uočljivo da su unutrašnji delovi kaldere izgrađeni od lavičnih slivova koji se naizmenično, vertikalno i bočno, smenjuju sa piroklastičnim materijalom u vidu vulkanskih breča. Sa udaljenjem od kaldere, dolazi do smanjenja prisustva andezitskih slivova i njihovog prestajanja, odnosno dominacije piroklastičnih tvorevina. Jasno je uočljivo i smanjivanje debljine vulkanskih produkata sa udaljavanjem od kaldere. U delu kaldere su prisutni manji andezitski dajkovi i nekovi pravca pružanja I–Z. Česti su rasedi pravca pružanja SZ–JI u kojima su formirane kvarcne razlomne zone.



Slika 9. – Strukturna karta leckog vulkanskog kompleksa (Serafimovski, 1990, iz Serafimovski, 1993)

Legenda: 1. neogeni sedimenti; 2. andeziti; 3. tufovi; 4. hidrotermalno izmenjeni andeziti; 5. andezit-rožnačka formacija; 6. kredni fliš; 7. dijabaz-rožnačka formacija; 8. Dijabazi, doleriti, spiliti; 9. serija gvoždovitih škriljaca; 10. gnajsevi; 11. vulkanski centar; 12. sekundarni vulkanski centri; 13. vulkanski nek; 14. ostaci vulkanske kalderare; 15. prstenasta struktura višeg reda; 16. prstenasta struktura nižeg reda; 17. rasedne strukture – utvrđene; 18. rasedne strukture – verovatne.

*Đavoljevaroška kaldera* — Đavoljevaroška kaldera je najveća u leckom vulkanskom kompleksu. Njen prečnik je preko 25 km. Zapadni deo kaldere je razoren, dok su ostali delovi relativno dobro očuvani. U okviru ove velike kaldere formirane su i tri manje: Đavolja varoš – 2, Kravari i Ivan kula (*Serafimovski, 1993*). Mlađi tektonski pokreti su dodatno uobličili ove kaldere. Dominantni su rasedni pravci I–Z i ISI–ZJZ. Na obodnim delovima najveće kaldere leckog vulkanskog kompleksa nalazi se više sekundarnih vulkanskih centara (Radan, Gornji Gajtan, Brajšor, Ibrahimov vis i dr.).

Najbolje očuvani delovi đavoljevaroške kaldere nalaze se na Sokolovici i Markovom visu. Kaldera na Sokolovici pokazuje tipičnu građu — dalji i niži delovi kaldere su izgrađeni od piroklastita, dok su unutrašnji delovi izgrađeni od smene andezitskih slivova i piroklastita. U spoljnoj, piroklastičnoj zoni, krupnoća fragmenata se povećava sa približavanjem unutrašnjem zidu kaldere, odnosno vulkanskom centru. Unutrašnja zona je izgrađena od lavičnih slivova i piroklastita koji se naizmenično smenjuju. Lavični slivovi, izgrađeni od amfibolskih i amfibol-piroksenskih andezita, debljine su od 1-60 m, dok su piroklastični horizonti debljine od 0,5 do 10 m. Piroklastiti su krupnozrni, u vidu breča i aglomerata. Uočavaju se vulkanske bombe prečnika 20-30 cm ali ima i većih — do nekoliko metara (*Jovanović i dr., 1972*).

*Tularska kaldera* — Tularska kaldera se nalazi u J-JI delu leckog vulkanskog kompleksa i predstavlja najmlađu od tri mega kaldere. Južni delovi kaldere su dobro očuvani, kao i vulkanski centar koji se nalazi na Braini. Severni deo kaldere je potpuno nejasan i najverovatnije razoren delovanjem tektonskih pokreta. Najverovatnije da je najveći uticaj na razaranje tularske kaldere imao transformni rased koji se pruža pravcem I–Z duž Batlave i Tularske reke. Po obodnim delovima kaldere uočavaju se sekundarni vulkanski centri, npr: Kruševica, Niševac, Lisica, Mrkonjski vis, Tularski vis i dr. Prečnik kaldere iznosi oko 6 km. U unutrašnjim zidu Tularske kaldere, takođe se uočava naizmenično smenjivanje andezitskih slivova i piroklastita.

Prema Serafimovskom (*Serafimovski, 1993*) u okviru leckog vulkanskog kompleksa moguće je izdvojiti još dve manje kaldere (Rakinačka i Šopotska), a koje nisu u sastavu tri mega kaldere.

*Rakinačka kaldera* — Rakinačka kaldera se nalazi između Đavoljevaroške na severu i Tularske mega kaldere na jugu. Ovo je manja kaldera prečnika oko 3,5 km koja se karakteriše koncentrično-lučnom prstenastom strukturom. Najbolje je očuvana u svom

istočnom delu, dok je zapadni deo kaldere razoren, najverovatnije delovanjem raseda orijentacije SSZ–JJI i erozijom.

*Šopotska kaldera* — Šopotska kaldera se nalazi u severoistočnom delu vulkanskog kompleksa. Predstavljena je kružno-eliptičnom strukturom sa jasno izraženim vulkanskim centrom na Šopotu. Dimenzija kaldere je oko 6 km. Po obodu kaldere je raspoređeno više sekundarnih vulkanskih centara.

Starost leckog vulkanskog kompleksa nije do kraja definisana. Početak vulkanske aktivnosti je određen na osnovu gornje-oligocenskih sedimenata u kojima su utvrđeni tufovi. Bez dodatnih određivanja apsolutne starosti neće se detaljnije utvrditi u kojem periodu je počela vulkanska aktivnost, kada je bila najaktivnija, odnosno najznačajnije faze vulkanske aktivnosti, kao i kada je završena. Za sada imamo malo, ali veoma dragocenih, podataka o apsolutnoj starosti stena leckog vulkanskog kompleksa. Tačnije, u dva navrata je apsolutna starost određivana i oba puta primenom K/Ar metode. Prvi put 1983. godine od strane Lovrića u okviru projekta „Određivanje starosti magmatita i metamorfita Srbije izotopskim metodama” (izvor: *Serafimovski*, 1993). Tom prilikom su određivanju starost bili podvrgnuti hornblenda andeziti iz oblasti Leca, kada im je određena apsolutna starost od 27,5 do 31 milion godina. Drugi put je ispitivanja apsolutne starosti sproveo Serafimovski (*Serafimovski*, 1993), kada su ispitivanju podvrgnuta dva uzorka iz bušotina u oblasti Tulara. Određena im je apsolutna starost 18 odnosno 23 miliona godina. Rezultati ovih ispitivanja govore u prilog ranijim tvrdnjama da je početak vulkanske aktivnosti vezan za gornji oligocen, pa čak i nešto ranije i da je trajao dugo tokom miocena. Postoje i određene pretpostavke (laboratorijskim putem nepotvrđene) da su se određene manifestacije ove vulkanske aktivnosti odigrale i u pliocenu. Takođe, rezultati određivanja apsolutne starosti odgovaraju pretpostavci da je od tri mega kaldere u leckom vulkanskom kompleksu, tularska kaldera najmlađa.

U okviru leckog vulkanskog kompleksa moguće je uočiti još vulkanskih centara kao što su Bandera, Vis i dr. Potpuno strukturno definisanje leckog vulkanskog kompleksa je još uvek nije izvršeno. Razlog za to je dvojak. Prvenstveno, radi se o strukturno vrlo komplikovanom vulkanskom kompleksu, koji se odlikuje višefaznom i dugotrajnom vulkanskom aktivnošću, vrlo intenzivnom tektonikom i izraženom erozijom. Otežavajući faktor je i vrlo visok stepen pokrivenosti terena.



## 5. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE NALAZIŠTA JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA

Stepen geološke istraženosti i mineragenetske izučenosti vulkanskog kompleksa Lece je nizak i krajnje neravnomeran. U periodu pre izrade ove disertacije, geološka istraživanja juvelirskih mineralnih sirovina vršena su samo u jugoistočnom delu kompleksa, na prostoru u kome se nalazi nekoliko ležišta i pojava tih sirovina: Rasovača, Bučumet, Vrtače, Kameno rebro i Gajtan-Crvodik. U istom periodu, u geološkim tvorevinama koje se nalaze u jugoistočnom i istočnom obodu vulkanskog kompleksa odnosno metamorfnom kompleksu Srpske-makedonske mase i u miocenskim sedimentima, pronađeno je nekoliko sekundarnih pojava juvelirskih sirovina, koje su nastale razaranjem primarnih rudnih tela iz vulkanita. Ovaj niz nalazišta sedimentnog tipa, počinje u blizini primarnih hidrotermalnih ležišta, na rubu vulkanskog kompleksa i, sa manjim prekidima se pruža sve do Bojnika, gradeći pojas dužine preko 10 km,.

Osim pomenutih istraživanja koncentrisanih u jednom relativno malom delu vulkanskog kompleksa, kao i van njega, preostali deo kompleksa bio je potpuno neistražen, bez ijedne utvrđene pojave juvelirskog kamena. Njegovo istraživanje i mineragenetsko izučavanje predstavljalo je prioritetan zadatak tokom izrade disertacije.

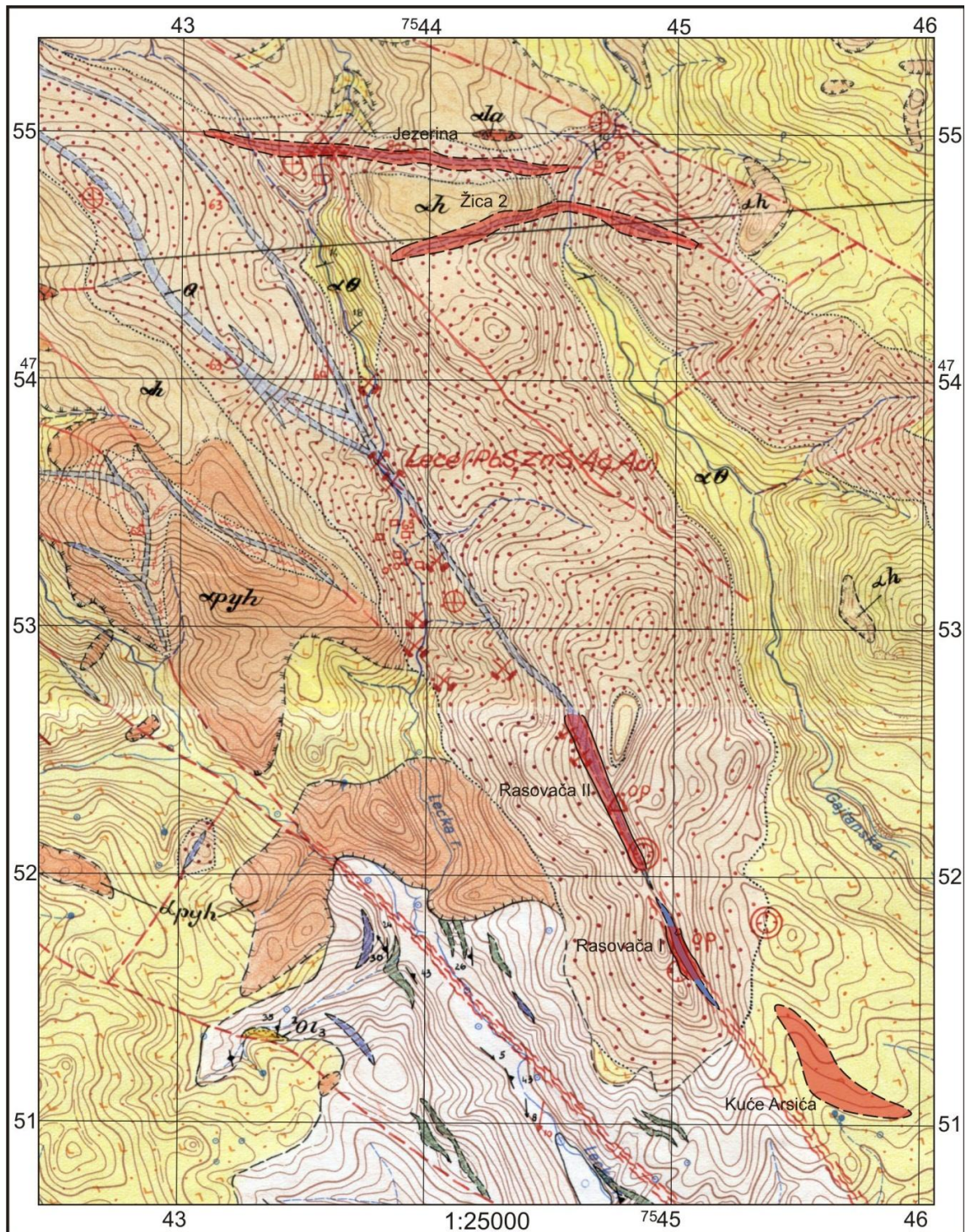
Rezultati istraživanja su pozitivni, jer je tokom njihovog izvođenja pronađeno više novih pojava juvelirskih sirovina: Pusto Šilovo, Vlasovo, Mehane I i Mehane II, Đake, Sokolov vis, Ždraljevići i u pojavama u aluvijonu reke Velika Kosanica i Kosanica. Njihove osnovne geološke karakteristike i uslovi stvaranja opisani su u tekstu koji sledi.

## 5.1. Ležište Rasovača

Ležište juvelirskog kamena Rasovača se nalazi u jugoistočnom delu leckog vulkanskog kompleksa, na oko 1 km istočno od naselja Lece. Jednim delom, rudna tela juvelirskog kamena čine sastavni deo polimetaličnog ležišta Lece.

Posmatrano sa geološkog i ekonomskog aspekta ležište Rasovača je jedno od najznačajnijih nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina u leckom vulkanskom kompleksu. Prvi podaci o njegovom istraživanju i eksploataciji ametista i ahata datiraju iz perioda VI veka. Juvelirske sirovine su u to vreme bile korišćene za izradu mozaika, o čemu svedoče nalazi u obližnjem arheološkom nalazištu — *Justiniana Prima*.

Ležište Rasovača pripada grupi primarnih, hidrotermalnih (epitermalnih) ležišta mineralnih sirovina. Juvelirske sirovine su prostorno vezane za brečaste kvarcne žice. Čine ih plemeniti minerali kvarcne grupe – kvarc i kalcedon u vidu – ametista, ametistno-kalcedonskog ahata i kalcedonskog ahata. Položaj rudonosnih brečastih kvarcnih žica je kontrolisan markantnom zonom razlamanja čiji je generalni pravac pružanja SSZ–JJI; tzv. struktura Šuta–Rasovača. Pored ovog osnovnog pravca, na širem prostoru ležišta nalazi se i nekoliko razlomnih rudonosnih struktura generalnog pravca pružanja I–Z. Geološki i potencijalno ekonomski najznačajnije su razlomne zone pravca I–Z: Jezerina i Žica 2 (Jezerina 2). Za istu razlomnu strukturu vezano je i polimetalično (Pb-Zn-Ag-Au) ležište Lece.



Legenda

	Hidrotermalno izmenjeni andeziti		Piroklastiti		Kvarciti		Kvarcna žica
	Hornblenda andeziti		Neraščlanjena serija: leptinolit, mikašisti, gnajsevi		Razlomna zona		Nalazište (ležište/pojava) juvelir. min. sir.
	Hornblenda piroksenski andeziti		Amfibolske stene		Rased pretpostavljen		

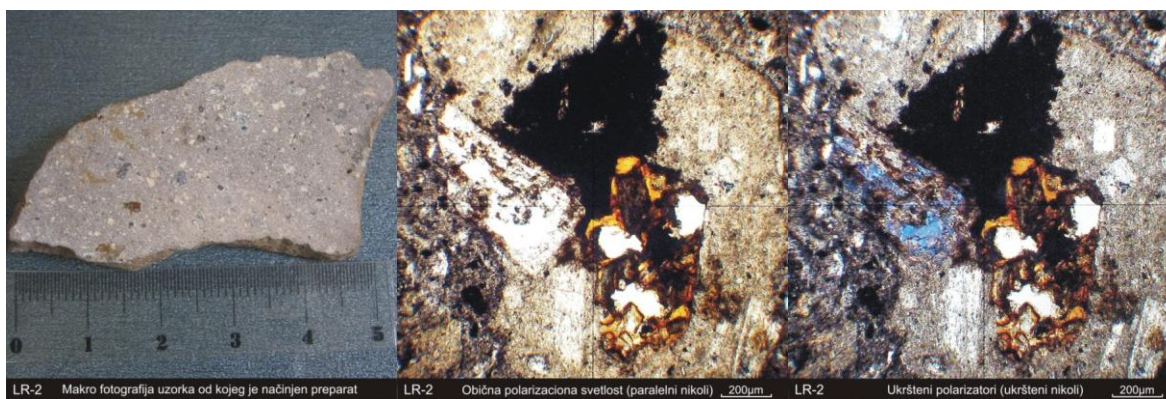
Slika 10. – Geološka karta nalazišta Rasovača koje obuhvata ležište Rasovača i pojave Jezerina, Žica 2 i Kuće Arsica.

Ukupna dužina razlomne, rudonosne strukture Šuta–Rasovača iznosi oko 5 km. Pruža se od Rasovače na jugoistoku, preko Šute na severozapadu do Vrtopa i Maligoda. Generalni pravac njenog pružanja je 330-150°. Pada za jugozapadu pod uglom od 40-80°. Pad razlomne zone počinje da biva strmiji u predelu oko zatezne stanice na Rasovači, da bi u krajnjem JI delu u predelu zvanom Pećura bio ka SI sa uglom od oko 70°. Brečasta kvarcna zona u ovom strukture je debljine od 1,5 do 5 m.

U geološkoj građi ležišta Rasovača i njegovoj okolini učestvuju stene vulkanskog porekla — različiti tipovi andezita (amfibolski, amfibolsko-piroksenski, piroksenski) i njihovi piroklastiti (tufovi, breče, aglomerati). Daciti, trahiti i andezit-bazalti su podređeni. Vulkanska aktivnost se odvijala u više faza, o čemu svediči česta smena izlivnih stena i piroklastita. Čitav kompleks ovih stena ima veliku debljinu, koja na ovom prostoru dostiže i nekoliko stotina metara.

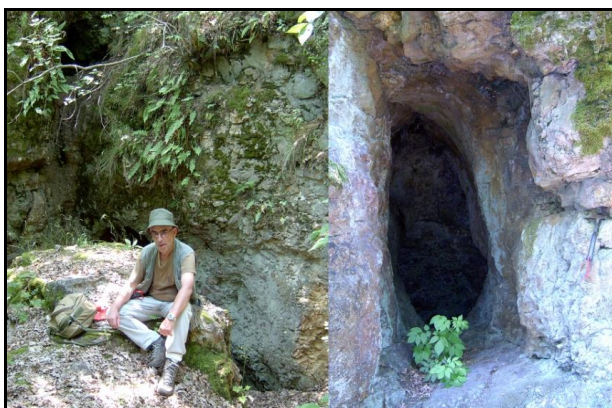
Proces formiranja ležišta bio je višefazan. Zapažaju se kako fragmenti andezita, cementovani silicijskim mineralima (i metaličnom mineralizacijom), tako i fragmenti silicijskih minerala nanovo cementovani istim.

Silifikacija je preovlađujuća faza hidrotermalne alteracije. Uočava se u svim delovima ležišta. U mnogim slučajevima, maskira primarni sastav andezita, što otežava pouzdano određivanje njihovog mineralnog i hemijskog sastava. Na osnovu rezultata mikroskopskih ispitivanja, andezitske stene na širem prostoru polimetaličnog ležišta Lece, odgovaraju amfibolskim andezitima i dacitima (Pešut 1976). Piroklastične stene su na području samog ležišta podređenog rasprostranjenja.



Slika 11. — Mikrofotografija petropreparata andezita sa lokacije Rasovača – Pećura (s leva na desno: uzorak od kojeg je izrađen petropreparat, snimak petropreparata sa paralelnim nikolima i sa ukrštenim nikolima). Uočavaju se fragmenti plagioklasa, koji su alterisani u različitom stepenu. Prisutni su i kristali amfibola, delimično alterisani. Osnovna masa je hijalična i delimično argilizirana. Mestimično se mogu uočiti i retki kristali biotita.

Jewelirski kamen je u okviru nalazišta Rasovača uočen na više lokaliteta. Najveće i geološki najznačajnije koncentracije se nalaze u krajnjem jugoistočnom delu kvarcno-brečaste zone Šuta–Rasovača, na području Rasovača – Pećura (Rasovača I i Rasovača II). U ovom delu nalazišta su i proračunate i overene rezerve C<sub>1</sub> kategorije, odnosno utvrđeni su određeni mineralni resursi plemenitog kamena. Druge dve prostorno bliske razlomne kvarcno-brečaste zone su Jezerina i Žica 2 (Jezerina 2). Treću lokaciju predstavljaju izdanci ahata i ametista i stari rimski radovi na prostoru kuće Arsića, koje se nalaze jugoistočno od nalazišta Rasovača.



Slika 12. – Stari (rimski) rudarski radovi na ležištu Rasovača

Mineralni resursi ahata su preliminarno definisani na području u kome se nalazi više ostataka starih rudarskih radova iz rimskog perioda, a, koji su istražnim potkopom novijeg datuma, prosleđeni po pružanju rudne strukture. Njihovim povezivanjem sa izdancima plemenitih minerala koji se nalaze na površini terena, procenjene su rezerve ahata od 1800 t i ametista — 241 t. Na osnovu podataka geoloških istraživanja, može se pretpostaviti da su ukupni mineralni resursi veći i da iznose više od 131.000 t ahata i 18.500 t ametista.

Kvarcno-brečasta zona ležišta Rasovača nalazi se u jako alterisanim andezitima. Okolne stene plemenitih minerala su najpre silifikovane a zatim i kaolinitisane. Stepent alteracija slabi sa udaljavanjem od razlomne zone. Zbog intenziteta i višefaznosti tektonskih pokreta i hidrotermalne aktivnosti, juvelirska mineralna sirovina je u žicama prisutna u dva osnovna oblika: u vidu brečastih odlomaka i kao cementni materijal. Prisutne žice ametista i ahata su naknadnom tektonikom često poremećene. U otvorenom prostoru nakon intenzivne tektonske aktivnosti, hidrotermalni rastvori su deponovali silicijske minerale – kvarc i kalcedon. Kao varijeteti juvelirske sirovine, mogu se izdvojiti ametist, ametist-ahat, tipičan kalcedonski ahat i relativno retko crveni jaspis. Procena mineralnih resursa crvenog jaspisa nije vršena.

Jezerina je nalazište plemenitih minerala u kome se izdvajaju dve prostorno bliske razlomne kvarcno-brečaste zone: Jezerina i Žica 2 (Žica 2 se često naziva i Jezerina 2). Otvorne su sa više potkopa i istražnih buština, koje su urađene za potrebe geoloških istraživanja polimetalične mineralizacije. Na osnovu tih podataka, budući da su prilikom istraživanja utvrđene zone sa „opalsko-kalcedonskom” masom i kvarcom (ametistom) izvršena je procena mineralnih resursa u iznosu od 4.000 t ametista i 600.000 t „opalsko-kalcedonske mase”.

Kvarcno-brečasta zona Jezerina pruža se pravcem I–Z; pada prema severu pod uglom od 80°. Debljina ove zone se kreće od 1 do 15 m. Na zapadu se zona Jezerina ukršta sa razlomnom zonom Šuta–Rasovača, dok na istoku preseca Žicu 2 (Jezerina 2.) Kvarcno-brečasta zona Žica 2, koja se pruža na oko 250 m južno od Jezerine, je relativno male debljine – 0,5–3 m. Pruža se paralelno sa Jezerinom pravcem I–Z, sa padom od oko 65° ka severu. U okviru dela nalazišta Rasovača koje obuhvata kvarcno-brečaste razlomne zone Jezerina i Žica 2 nisu detaljnije utvrđivane vrste i kvalitet juvelirske mineralne sirovine. Utvrđeno je prisustvo ametista, za koji se često tvrdi da je lošeg kvaliteta, i neraščlanjene „opalsko-kalcedonske” mase nejasnog kvaliteta.



Slika 13. – Način pojavljivanja, ametista i ahata u ležištu Rasovača (u oblasti Pećura).

Na prostoru oko "kuća Arsića" uočavaju se brojni odlomci i nesigurni izdanci ahata, ametista i, u manjoj meri, crvenog jaspisa. Da li se radi o izdancima primarnog orudnjenja ili nekoj drugoj pojavi (sekundarnom nanosu koji je nastao razaranjem primarnog ležišta), na današnjem stepenu istraženosti nije moguće sa sigurnošću utvrditi. Komadi brečaste stenske mase, čije su razmere u prečniku i preko 50 cm, mogu da predstavljaju urovljene blokove u humusnom materijalu, ali i primarne izdanke. Sirovina koji se ovde može naći odgovara sirovini iz ležišta Rasovača, kako po pitanju načina pojavljivanja (izražena

brečizacija), tako i po prisutnim varijetetima juvelirskog kamena. Ostaci starih rudarskih radova iz rimskog perioda ukazuju na eksploataciju koja se ovde odvijala u to doba.

Određivanje genetske pripadnosti sirovine samo na bazi izučavanja topoloških karakteristika terena ukazuje za obe pretpostavke. Obliznja kvarcno-brečasta zona Šuta-Rasovača i na ovom prostoru dominira kao markantni rif, te je moguće da je gravitacionim putem došlo do nagomilavanja materijala u njenom podnožju. S druge strane, postojanje pozitivnog morfološkog oblika izduženog pravca pružanja, manje više paralelnog pružanju kvarcno-brečaste zone Rasovača, može ukazivati i na postojanje primarnog rudnog tela.



Slika 14. – Levo – primer intenzivne brečizacije sa fragmentima silicijskih minerala; desno – ametist u andezitskoj breči (kuće Arsića).

Osim pomenutih nalazišta juvelirskog kamena, na prostoru kvarcno-brečaste zone Šuta–Rasovača, kao i u njenoj neposrednoj okolini, nalazi se i više drugih, nedovoljno izučanih pojava ametista i ahata, što svedoči o njenoj perspektivnosti i potrebi daljih izučavanja.

## 5.2. Ležište Bučumet

Ležište Bučumet nalazi se u jugoistočnom obodnom delu leckog vulkanskog kompleksa, u blizini njegove geološke granice sa stenama metamorfnog kompleksa Srpsko-makedonske mase. Od naselja Lece udaljeno je oko 3 km u smeru SI, a od Medveđe oko 8 kilometara u smeru SSZ. Najbliže naseljeno mesto je selo Gornji Bučumet, u čijem se ataru i nalazi.

U sastavu geološke građe terena šireg područja ležišta dominiraju hidrotermalno izmenjeni hornblenda andeziti. Osim njih, nalaze se i brojni andezitski piroklastiti -

uglavnom breče i aglomerati, u manjoj meri i tufovi. Ležište Bučumet pripada grupi hidrotermalnih ležišta juvelirskog kamena; odgovara tipu silicijskog sintera, koji je predstavljen silicijskim naslagama u vidu stratiformnih pločastih rudnih tela.

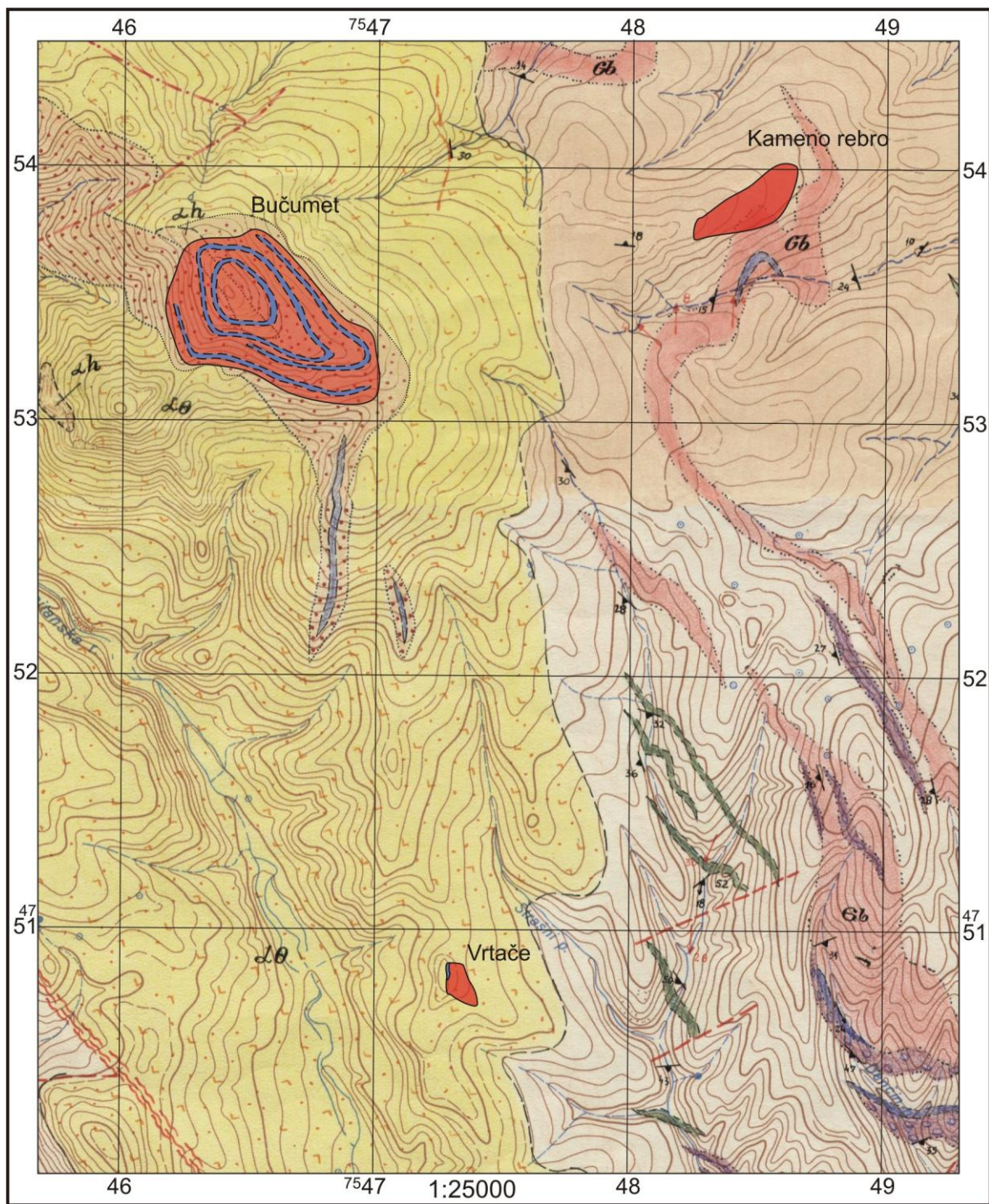
Na osnovu morfoloških karakteristika i geološke građe terena može se zaključiti da su silicijske mase nastale usled izlivanja hidrotermalnih rastvora u dovodnim kanalima vulkanskog centra, u završnim fazama vulkanske aktivnosti. Na postojanje vulkanskog centra na ovom prostoru ukazali su rezultati izvršenih morforstukturnih istraživanja. Naime, silicijske mase se preslojavaju sa andezitima i piroklastitima, dok ploče silicijskog sintera imaju koncentričan oblik. Na taj način, vulkanske i piroklastične stene, zajedno sa silicijskim masama, formiraju kupastu formu reljefa koja najverovatnije predstavlja ostatke nekadašnjeg vulkanskog aparata.

Silicijski sinteri se stvaraju oko termalnih izvora i mogu nastati subaerski ili subakvalno. Često se oko termalnog izvora formira manje jezero. Na takav način, često dolazi do zarobljavanja i silifikacije biogene materije. Ovome u prilog govore i nalazi silifikovanog drveta i druge biogene materije koja je utvrđena, kako makroskopski, tako i mikroskopski, u petrografskim preparatima.

U pomenutim uslovima, silicija se inicijalno deponuje u vidu amornog opala, koji kasnije, procesima dijageneze, prelazi u opal-CT, zatim opal-C i konačno u kvarc (mikrokristalasti i kriptokristalasti, i ređe u makrokristalni kvarc). Ovaj proces prekrizalizacije amorfne silicijske mase počinje vrlo brzo ali se dešava prilično neravnomerno. Tako da se u silicijskim masama može videti više stepena prekrizalizacije. Najvećim delom je silicijska masa prekrizalasila u kalcedon (mikrokristalasti i kriptokristalasti kvarc) i zrnasti kvarc. U mnogo manjoj meri javlja se i opal, najčešće u vidu reliktnog opala (opal-CT). U prilog ovome govore rezultati laboratorijskih ispitivanja (rentgenske difrakcije praha, petrografske analize i određivanja indeksa prelamanja i specifične težine).

Ležište juvelirskih sirovina Bučumet predstavlja jedino poznato a sačuvano, primarno hidrotermalno ležište tipa silicijskog sintera (Vrtače samo jednim malim delom imaju sačuvan primarni deo ležišta). Na osnovu današnjeg stepena poznavanja njegove geološke građe i uslova stvaranja, može se pretpostaviti da je predstavljalo izvor materije za stvaranje sekundarnih ležišta juvelirskog kamena tipa mehaničkih sedimenata, koja se nalaze u obodnom jugoistočnom i istočnom delu vulkanskog kompleksa.



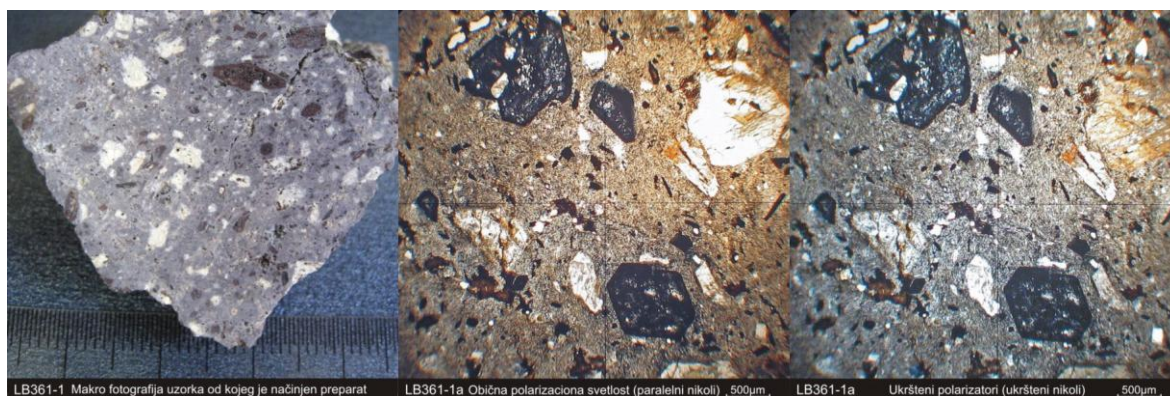


Legenda

	Hidrotermalno izmenjeni andeziti		Neraščlanjena serija: leptinoli, mikašisti, gnajsevi		Razlomna zona
	Hornblenda andeziti		Amfibolske stene		Kvarcna žica
	Piroklastiti		Kvarciti		Nalazište (ležište/pojava) juvelirske miner. sirovine
	Biotitski sitnozrni gnajsevi		Rased pretpostavljen		

Slika 15. – Geološka karta ležišta Bučumet, Kameno rebro i Vrtače.

Ležište Bučumet je istraženo sa 11 raskopa i 6 istražnih bunara (Pejčić i dr., 1981a). Njihovim geološkim kartiranjem je utvrđeno postojanje dva glavna rudna tela (Bučumet 1 – „gornja“ i „donja“ ploča) oblika ploča, subhorizontalnog položaja, kao i jedno manje pločasto rudno telo koje se nalazi na samom vrhu Bučumeta („Bučumetski vrh“). Osim pomenutih rudnih tela, utvrđeno je i prisustvo manjeg rudnog tela pločastog oblika na zapadnim padinama Bučumeta, koje nije detaljno istraženo. Ukupni procenjeni mineralni resursi iznose oko 1.000.000 t, dok su pretpostavljeni oko 80.000 t.



Slika 16. – Mikrofotografija petropreparata andezita sa ležišta Bučumet („gornja ploča“) (s leva na desno uzorak od kojeg je izrađen petropreparat, snimak petropreparata sa paralelnim nikolima i sa ukrštenim nikolima). Kao fenokristali se najčešće javljaju feldspati plagioklasi, koji su znatno argilizirani, ispucali i impregnirani sekundarnim hidroksidima Fe. Često su ispucali po ivicama. Uočavaju se i amfibol i biotit, takođe izmenjeni.

„Donja“ i „gornja ploča“, zajedno sa Bučumetskim vrhom, imaju pad prema severoistoku od 10-15°. Ova rudna tela su stratifikovana sa andezitskim tufovima, aglomeratima i andezitima.

Debljina „gornje ploče“ nije jasno uočiva zbog pokrivenosti terena humusnim materijalom i njegove pošumljenosti. Na osnovu podataka ranije izvršenih istražnih radova pretpostavlja se da iznosi oko 1,5-2 m. U povlati „gornje ploče“ nalazi se humusni pokrivač, kao i , u jednom delu, prelazni silicijsko-tufozni sloj, pelitski andezitski tuf i andezitski aglomerat. Podina nije utvrđena.

„Donja ploča“ se nalazi oko 7 m ispod „gornje ploče“. Njena debljina je oko 5,5 m. U njenoj povlati se nalaze prelazni silicijsko-tufozni sloj, preko koga naležu pelitski andezitski tufovi i andezitski aglomerati. U podini ovog rudnog tela, istražnim radovima utvrđen je, najpre, prelazni silicijsko-tufozni pseudosloj, zatim i andezitski aglomerati. I pored ovih podataka stepen raščlanjenosti vulkanskih stena u oblasti ležišta Bučumet, nije pouzdano utvrđen.

Juvelirske mineralne sirovine u ležištu su kalcedoni i jaspisi različitih boja i nijansi. Najčešće se javljaju varijeteti plavičaste i crvene boje u više tonova. Interesantno je da je broj utvrđenih varijeteta juvelirskog kamena na Bučumetu relativno mali. Razlog treba tražiti u činjenici da je teren pod površinskim pokrivačem i intenzivno pošumljen, te da se radi o veoma kompaktnim silicijskim masama, koje je vrlo teško uzorkovati. Samim tim, broj proba uzetih sa ove lokacije je manji nego sa sekundarnih nanosnih ležišta i pojava, gde je uzorkovanje, i uvid u varijetete juvelirske sirovine, bilo znatno jednostavnije.



Slika 17. – Izdanak „donje ploče“ na ležištu Bučumet.

U okolini pločastih rudnih tela, a na dubini do oko 1 m nalaze se brojni odlomci kalcedona i jaspisa različitih dimenzija – od nekoliko centimetara do 50 cm, a ređe se javljaju i manji blokovi.



Slika 18. – Odlomci jaspisa i kalcedona na ležištu Bučumet.

Pločasta rudna tela silicijskog sastava, nisu značajnije tektonski poremećena. Na južnim padinama Bučumeta uočavaju se dva manja raseda koja se pružaju pravcem S–J, a

približavaju se jedan drugom. Duž ovih raseda došlo je do spuštanja silicijskih rudnih tela u istočnom delu ležišta.

### 5.3. Ležište Kameno rebro

Ležište Kameno rebro se nalazi u ataru sela Gornji Bučumet u zaseoku Kopiljaci. Od Lebana je udaljeno u smeru zapada oko 11-12 km, a od Medveđe oko 9 km u smeru severa. U geološkom pogledu, nalazi se na tvorevinama metamorfnog kompleksa Srpsko-makedonske mase (gnajsevi, mikašisti i amfiboliti), u neposrednoj blizini leckog vulkanskog kompleksa.

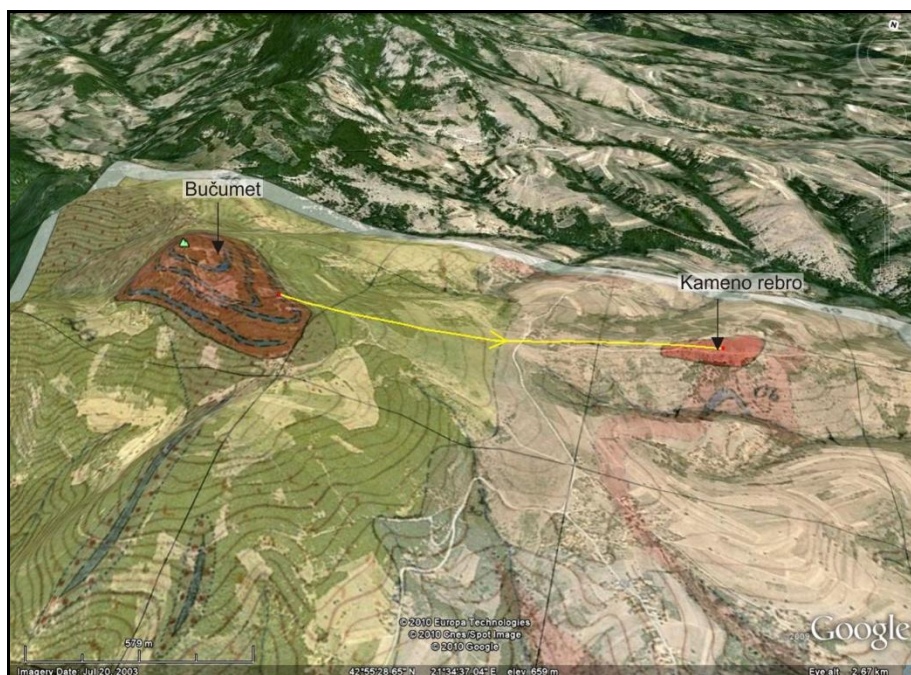
Ležište Kameno rebro pripada klasi ležišta mehaničkih sedimenata; deluvijalnog je tipa. Pretpostavlja se da je nastalo kao posledica fizičko-mehaničke degradacije primarnog ležišta Bučumet, koje se nalazi na udaljenosti od približno 1,5km. Morfologija terena vrlo jasno govori u prilog prethodne konstatacije (slika 19). Na sadašnjem erozionom nivou Bučumet se nalazi na 750 do 820 mnv dok je Kameno rebro na oko 610 mnv. Klizanjem i spiranjem rudnog materijala niz padine brda, odlomci juvelirskog kamena, na zaravnjenom delu terena formirali su deluvijalni nanos. Materijal koji je inicijalno nanet na prostoru Kamenog rebra verovatno je sadržavao značajno više odlomaka andezita i piroklastita. Daljim procesima erozije ovaj materijal je bio dodatno razoren i usitnjen, dok su odlomci silicijskih ploča kao značajno tvrđi i otporniji zadržani u većem procentu. Takođe, na osnovu konfiguracije terena jasno je da je u deluvijumu Kamenog rebra završio materijal iz severoistočnog i istočnog dela ležišta Bučumet (slika 19).

Stepen zaobljenosti i veličina odlomaka u ležištu Kameno rebro ukazuju na relativno kratak transport materijala. Juvelirska mineralne sirovine Kamenog rebra u potpunosti korespondira sa sirovinom Bučumeta, što potkrepljuju i rezultati izvršenih laboratorijskih analiza.

Deluvijalni nanos ležišta Kameno rebro je debljine između 0,2 do 1,2 m, i zahvata površinu terena od oko 6 ha. Od geoloških istražnih radova urađana su tri raskopa. Procenjeni mineralni resursi iznose oko 35.000 t.

Osim odlomaka juvelirskog kamena u ležištu se u mnogo manjoj meri nalaze i odlomci andezita i njihovih piroklastita. Geološka karta šire okoline ležišta Kameno rebro, kao i ležišta Bučumet i Vrtače, data je na slici 15 u poglavlju Ležište Bučumet.

Juvelirske mineralne sirovine čine različiti varijeteti jaspisa i kalcedona. Poznati su varijeteti crne, braon, crvene, plavičaste i bele boje, različitih nijansi, šara i prozračnosti. Silicijska masa je izgrađena od kvarca i kalcedona. Uočava se samo reliktni opal, čijom kristalizacijom je došlo do formiranja kalcedona i kvarca. Pukotine su najčešće zapunjene vlaknastim kalcedonom i kvarcom.



Slika 19. – Satelitski snimak (Google Earth) ležišta Bučumet i Kameno rebro sa nanetom geologijom. Žuta linija ukazuje na konfiguraciju terena i pravac transporta erodovanog materijala.

Juvelirski kamen ležišta Kameno rebro pokazuje znatno veći broj varijacija boje u odnosu na ležište Bučumet. Ovo je na prvi pogled u suprotnosti sa tvrdnjom da je primarni izvor materijala za formiranje Kamenog rebra sa Bučumeta. Međutim, imajući upravo u vidu da je Bučumet primarno ležište sa očuvanim primarnim rudnim telima, stepen poznavanja same sirovine je na nižem nivou i tek će se sa eksploatacijom utvrditi celokupan dijapazon varijeteta. S druge strane, na Kamenom rebro je taj materijal već razoren i dostupan neposrednom osmatranju, tako da je i utvrđivanje varijeteta juvelirskog kamena mnogome olakšano.



Slika 20. – Odlomci juvelirskog kamena u ležištu Kameno rebro.

Veličina odlomaka juvelirskog kamena se kreće od par centimetara do oko 60-70 cm.

Prostriranje nanosa silicijskih minerala je znatno šire nego što su definisane granice ležišta. Po površinama okolnih padina jasno se uočavaju odlomci silicijske mase različitih, uglavnom manjih dimenzija. Veličina i položaj ležišta Kameno rebro je dobrim delom uslovljen i položajem okolnih ograđenih seoskih imanja koja su očigledno bitno uticala na prostore na kojima su istraživanja izvršena. Brojni su odlomci juvelirskog kamena pored puteva, a česte su i naslage juvelirskog kamena, koje lokalno stanovništvo vadi i izbacuje iz njiva.

## 5.4. Ležište Vrtače

Ležište Vrtače se nalazi 2,5 km južno od Bučumeta. Medveđa je od ovog ležišta udaljena oko 6 km u smeru juga, dok se Lebane nalazi na oko 12 km u smeru istoka. Ležište ima izuzetno povoljne saobraćajne prilike, budući da se nalazi u neposrednoj blizini asfaltnog puta koji spaja sela Gazdare i Srednji Bučumet, prolazeći pored flotacije polimetalnog rudnika Lece. Ležište Vrtače je od flotacije rudnika Lece udaljeno oko 1,5 km u smeru severozapada.

Ležište Vrtače istovremeno predstavlja i primarnu i sekundarnu pojavu juvelirskog kamena. Nalazi se u andezitskim piroklastitima u kojima dominiraju vulkanske breče, ali se takođe, javljaju i tufovi. U severozapadnom delu ležišta je sačuvana mala silicijska masa u

vidu primarnog pločastog rudnog tela juvelirskog kamena, koja je istog tipa kao Bučumet. Radi se o hidrotermalnom nalazištu tipa silicijskog sintera. Nalazište zahvata površinu od 9.334 m<sup>2</sup>, i najvećim delom je predstavljeno eluvijalnim i deluvijalnim nanosom juvelirskog kamena. Odlomci su nezaobljeni ili veoma slabo zaobljeni što ukazuje na izuzetno kratak transport. Imajući prethodno rečeno u vidu, Vrtače se može tretirati kao ležište mehaničkih sedimentata eluvijalnog tipa, odnosno predstavlja erozioni ostatak nekada značajno većeg rudnog tela koje je bilo izloženo procesima površinske fizičko-mehaničke degradacije.

Ukupni mineralni resursi juvelirskih sirovina u ležištu Vrtače se procenjuju na 4.500 t (Pejić i dr., 1981a).

Odlomci juvelirskog kamena su veličine od par centimetara do 50-ak cm, retko i više. Kao juvelirski kamen, odnosno juvelirska mineralna sirovina, izdvojeni su kalcedon i jaspis, i to u najraznovrsnijim podvarijetetima po boji i teksturi. Juvelirski kamen je bele, svetloplave, ljubičaste, crvene i braon boje različitih nijansi, što ga čini vrlo atraktivnim.

Odlomci juvelirske mineralne sirovine se javljaju na samoj površini terena u površinskom humusnom materijalu i lako ih je pratiti na celoj površini okonturenog ležišta. Debljina nanosa nije pouzdano utvrđena istražnim radovima, već je procenjena metodom neposrednog posmatranja; varira od 20 do 40 cm. Debljina primarnog subhorizontalno pločastog rudnog tela, koje se nalazi u krajnjem SZ delu ležišta, je oko 50 cm.



Slika 21. – Odlomci juvelirskog kamena u eluvijalno-deluvijalnom nanosu ležišta Vrtače.

Ležište Vrtače se nalazi na zaravnjenom delu istoimenog brda, što je najverovatnije posledica postojanja horizontalnog pločastog silicijskog rudnog tela koje je svojom povećanom rezistencijom uticalo na formiranje ovakvog vida reljefa.



Slika 22. – Otvoreni profil u useku asfaltnog puta koji prolazi pored neokonturenog dela ležišta Vrtače (levo) sa detaljima geoloških članova koji izgrađuju profil.

Juvelirski kamen, zapravo, ima mnogo veće prostiranje nego što okonturena površina mineralnog resursa ukazuje. Na okolinim padinama terena, posebno na istočnoj padini brda, moguće je uočiti veliki broj kvalitetnih odlomaka kalcedona i jaspisa. Takođe, stotinak metara severoistočno od ležišta, u obližnjem šumarku, nalaze se blokovi silicijske mase razmera preko 50 cm, zajedno sa fragmentima manjih dimenzija. Postoji mogućnost da radi o izdancima primarnog rudnog tela, ali to na ovom stepenu istraženosti nije moguće sasvim pouzdano utvrditi. U odseku puta uočavaju se izdanci hornblendna andezita, koji čine podinu andezitskim tufovima (debljina sloja oko 1-1,5 m), preko kojih naleže eluvijalno-deluvijalni nanos juvelirskog kamena, debljine nekoliko desetina centimetara do pola metra (slika 22). Na nekoliko stotina metara istočno od ležišta Vrtače, na padinama brda, piroklastične tvorevine leckog vulkanskog kompleksa nalaze se u kontaktu sa metamorfnim stenama Srpsko-makedonske mase.

Na slici 23 se jasno uočava mikropukotina u andezitu, koja je nastala kao posledica naknadnih tektonskih pokreta, a koja je u centralnom delu zapunjena kalcedonom i mikrokristalnim kvarcom. Ovo ukazuje na proces silifikacije andezita prilikom formiranja ležišta Vrtače i predstavlja jedan od pokazatelja prisustva primarnog rudnog tela u nalazištu Vrtače. Na osnovu načina pojavljivanja, oblika rudnog tela, vrste juvelirske mineralne sirovine kao i rezultata laboratorijskih analiza, izveden je zaključak da se radi o ležištu iste geneze kao i ležište Bučumet. Osnovna razlika između pomenutih ležišta ogleda se u stepenu očuvanosti primarnog rudnog tela. Takođe, u ležištu Vrtače veći deo sirovine



nalazi se u eluvijalno-deluvijalnom nanosu, što nije slučaj sa ležištem Bučumet. Vrtače predstavljaju prelaz između primarnog ležišta tipa Bučumet i ležišta tipa mehaničkih sedimenata Kameno rebro.



Slika 23. – Mikrofotografija petropreparata hornblendanda andezita sa ležišta Vrtače (s leva na desno): makrofotografija uzorka od kojeg je izrađen petropreparat, mikrofotografija petropreparata sa paralelnim nikolima i sa ukrštenim nikolima).  
f – feldspat, a – amfibol, b – biotit, k – kvarc.

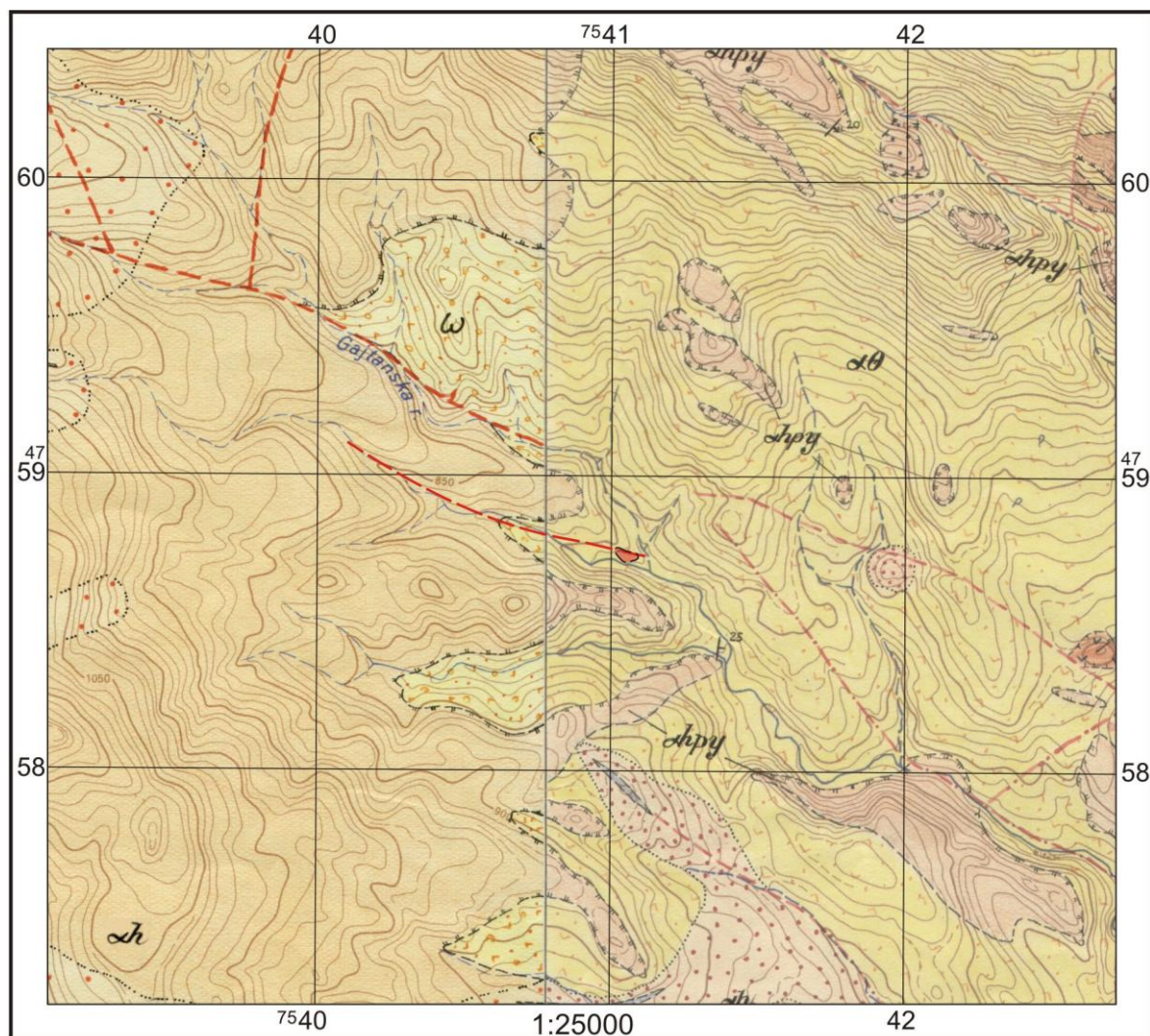
Geološka karta šire okoline ležišta Vrtače, kao i ležišta Bučumet i Kameno rebro, data je na slici 15 u poglavlju Ležište Bučumet.

## 5.5. Pojava Gajtan-Crvodik









Pojava juvelirskog kamena Gajtan-Crvodik nalazi se u centralnom delu leckog vulkanskog kompleksa, u ataru sela Gornji Gajtan i zaseoka Crvodik. Pored pojave prolazi asfaltni put koji, od naselja Lece, preko rudnika Lece, vodi ka Gornjem Gajtanu.

Gajtan-Crvodik je primarna pojava juvelirskog kamena. Pripada grupi hidrotermalnih ležišta. Nije detaljnije istraživana. Zbog te činjenice, svrstano je u grupu pojava juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa.

Teren na kojem se pojava nalazi, pokriven je šumom i humusnim pokrivačem što umnogome otežava utvrđivanje prostornog položaja i veličine rudnog tela. Juvelirski kamen se nalazi u vidu manjih žica i sočiva u razlomnoj zoni pružanja ZSZ koja preseca piroklastite. Makroskopski posmatrano, dominantan litološki član je andezitska breča; nažalost, nije bilo moguće utvrditi da li se radi o tektonskoj ili o vulkanskoj breči. Širina tektonske zone, zbog pokrivenosti terena, takođe nije pouzdano određena. U blizini se uočavaju izdanci andezitskog tufa.



### Legenda

	Hidrotermalno izmenjeni andeziti		Piroklastiti		Kvarcna žica
	Hornblenda andeziti		Razlomna zona		Nalazište (ležište/pojava) juvelir. min. sir.
	Hornblenda piroksenski andeziti		Rased pretpostavljen		

Slika 24. – Geološka karta okoline pojave juvelirskog kamena Gajtan-Crvodik



Slika 25. – Pojava Gajtan-Crvodik; pružanje razlomne zone (levo), način pojavljivanja crvenog jaspisa *in situ* (desno)

Brečizacija silicijskog materijala je izražena, što se može videti i u petrografskom preparatu jaspisa sa ove lokacije (slika 26). Uočava se i višefaznost tektonskih pokreta i prinosa silicije.



Slika 26. – Mikrofotografija brečiziranog crvenog jaspisa (s leva na desno: makrofotografija uzorka od kojeg je izrađen petropreparat, mikrofotografija petropreparata sa paralelnim nikolima i sa ukrštenim nikolima).

U preparatu se jasno uočava višefaznost deponovanja silicije. U centralnom delu mikrofotografije se uočava kalcedonska žičica, iznad koje se, u praznom prostoru uočavaju sitni kristali kvarca. Osnovna masa je izgrađena od mikrokristalastog kvarca sa oksidima gvožđa (od čega najverovatnije i potiče crvena boja).

Najmarkantnija je žica crvenog jaspisa, koja se može pratiti na padini brda, u useku planinske staze. Njena debljina je 20-ak cm, dok je po pružanju prosleđena na rastojanju od 10-ak metara. Crveni jaspis se nalazi kao primaran, u žicama, i u vidu odlomaka u deluvijalnom nanosu. U crvenom jaspisu se uočavaju i žilice plavičasto-belog kalcedona, koji nesumnjivo predstavlja mlađu fazu prinosa silicije.

U neposrednoj blizini pojave Gajtan-Crvodik nalazi se Gajtanska reka koja drenira odlomke juvelirskog kamena i taloži ih u vidu aluvijalnog nanosa u nižem delu toka. Otuda se odlomci crvenog jaspisa mogu naći u različitim nanosima, širom leckog vulkanskog

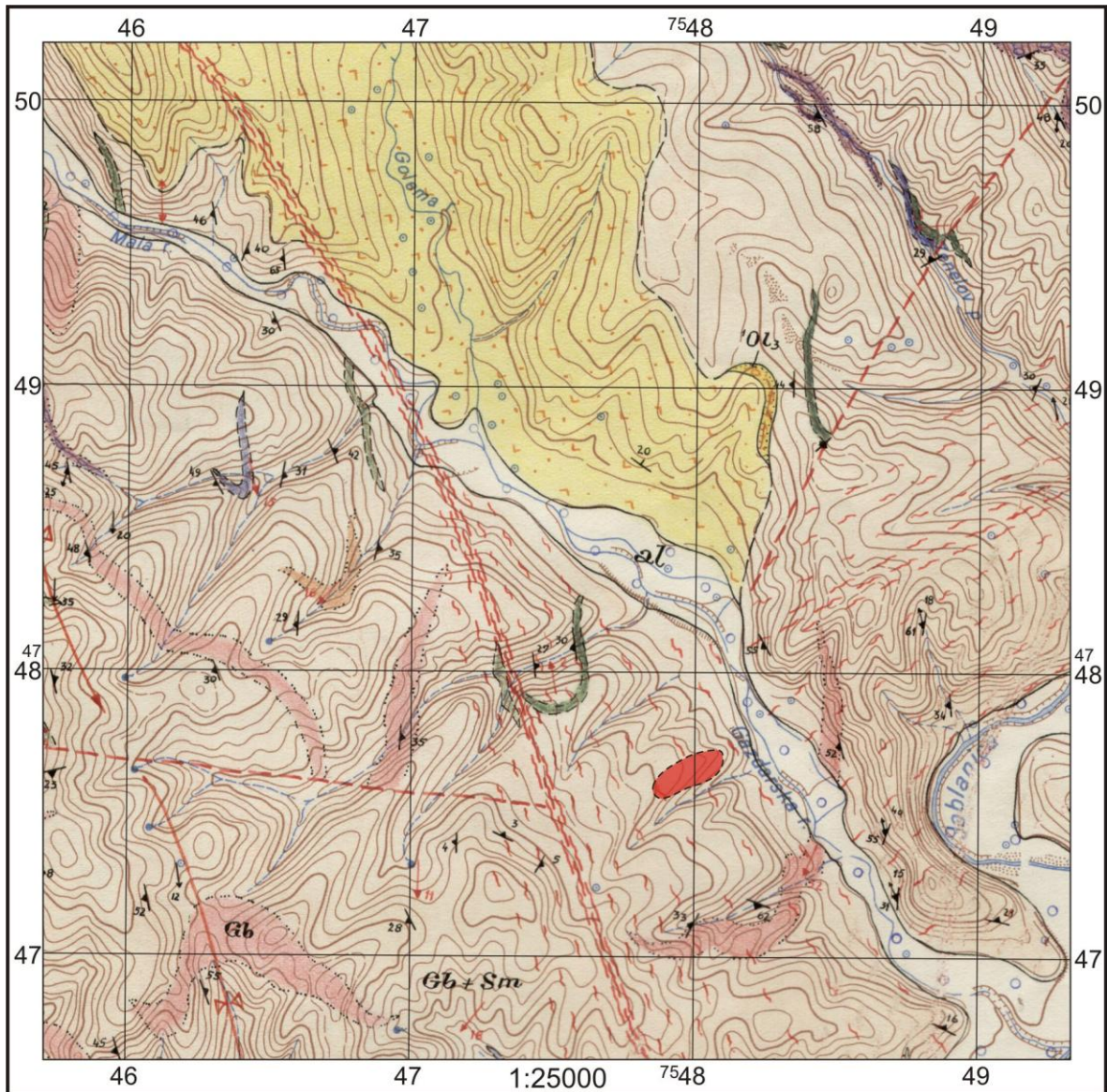
kompleksa, pa i van njega; primarna rudna tela crvenog jaspisa su, međutim, retka. Imajući u vidu prethodno rečeno, pojava Gajtan-Crvodik zaslužuje veću pažnju od one koja joj je do danas posvećena.

Prilikom ranijih istraživanja (*Malešević i dr.* 1984.) na širem prostoru pojave Gajtan-Crvodik, utvrđeno je i prisustvo tamnosivog i crnog kalcedona. U kratkom izveštaju o juvelirskom kamenu sa ovog prostora, Malešević je naglasio: „U piroklastitima tzv. Gajtanske kaldere konstatovana su dva „sloja“ opalsko-kalcedonske mase. Boja ove mase je tamnosiva do crna. U neposrednoj blizini pojave nađeni su komadi karmin crvene boje.“. Budući da u izveštaju nisu navedene koordinate pojave, pri regonosciranju nije utvrđen njen tačan položaj. Međutim, pošto i oni navode odlomke „karmin crvene boje“ možemo pretpostaviti da se radi o prostorno vrlo bliskoj pojavi. Takođe, verovatno je da pojava Gajtan-Crvodik ima znatno veće prostiranje i da raspolaže većim brojem varijeteta juvelirskog kamena, nego što je na ovom stepen istraženosti poznato. Svakako da ovo nalazište zaslužuje da bude detaljnije istraženo.











## 5.6. Pojava Pusto Šilovo

Pusto Šilovo je novootkrivena pojava juvelirskog kamena na prostoru leckog vulkanskog kompleksa. Nalazi se u blizini sela Gazdare i zaseoka Pusto Šilovo. U neposrednoj blizini pojave protiče Golema reka čijom dolinom prolazi asfaltni put koji spaja Lece sa Medveđom, odnosno Leskovcem. Pojava je od Medveđe udaljena u smerusevera oko 2,5–3 km.

Pojava Pusto Šilova je predstavljena mehaničkim sedimentima koji, najverovatnije, prekrivaju metamorfne stene Srpsko-makedonske mase. Usled visokog stepena pokrivenost terena (šuma i humusni pokrivač) tvorevine koje se nalaze u podini pojave nisu pouzdano određene.



Legenda

	Piroklastiti		Amfibolske stene		Razlomna zona
	Biotitski sitnozrni gnajsevi		Kvarciti		Kvarcna žica
	Grubo klastična serija (peščari, konglomerati, breče)		Rased pretpostavljen		Nalazište (ležište/pojava) juvelirske miner. sirovine
	Neraščlanjena serija: leptinoli, mikašisti, gnajsevi				

Slika 27. – Geološka karta okoline pojave juvelirskog kamena Pusto Šilovo

Produktivni nanos je izgrađen od odlomaka silicijskih minerala, koji štrče iz humusnog materijala. Razmere odlomaka su različite – od jednog centimetra do preko pola metra. Budući da na ovoj pojavi nisu izvođeni geološki istražni radovi, debljina nanosa nije detaljno utvrđena. Na osnovu današnjeg stepena poznavanja, međutim, može se zaključiti

da se najverovatnije radi o proluvijalno-aluvijalnom tipu akumulacije, odnosno, budući da se u nanosu nalazi juvelirski kamen različitih karakteristika, moguće je da je on u najvećoj meri aluvijalnog tipa i da pripada Gazdarskoj reci. Na osnovu rezultata preliminarnih istraživanja, može se zaključiti da se pojava nalazi na ostacima nekadašnje rečne terase u kojoj su zadržani rezistentni silicijski minerali.

Gazdarska reka preko svojih pritoka drenira veliki deo leckog vulkanskog kompleksa. Gajtanska, odnosno, Golema reka, kako se u svom donjem delu toka naziva, drenira značajan deo vulkanskog kompleksa i uliva se u Gazdarsku reku oko 1 km pre pojave Pusto Šilovo. Odlomci juvelirskog kamena sa pojave Gajtan-Crvodik i ležišta Rasovača, Bućumet i Vrtače su vrlo lako mogli biti doneti vodenim tokom ove reke budući da se nalaze u blizini toka Gajtanske reke. Konfiguracija terena je takva, da odlomci juvelirskog kamena, lako, relativno kratkim gravitacionim transportom, dospevaju do rečnog toka.

Deo rudnog materijala koji potiče sa ležišta Rasovača svojim tokom verovatno je nosila i Lecka, odnosno Gazdarska reka (lokalni naziv za gornji tok Lecke reke). Imajući u vidu konfiguraciju terena, logično je pretpostaviti da je deo odlomaka ahata i ametista pomenutom rekom transportovan do pojave Pusto Šilovo. Naravno, u ovoj pojavi najverovatnije je akumuliran i materijal sa drugih, još neotkrivenih pojava, o čemu svedoče uzorci silifikovanog drveta i drugog neraščlanjenog silifikovanog biogenog materijala.



Slika 28. – Odlomci juvelirskog kamena u nanosu pojave Pusto Šilovo.

Pojava Pusto Šilovo je prospektovana na površini terena čija je veličina 250x150 m. U okviru nje se osim juvelirskog kamena, nalaze i odlomci andezita i vulkanskih breča (čije su razmere do 20-ak cm u prečniku). Step en zaobljenosti odlomaka juvelirskog kamena odgovara pretpostavljenoj dužini transporta.

Juvelirski kamen je zastupljen vrlo raznovrsnim varijetetima. U najvećoj meri su zastupljeni odlomci jaspisa i kalcedona sličnih karakteristika onima sa Bućumeta i Vrtača. U

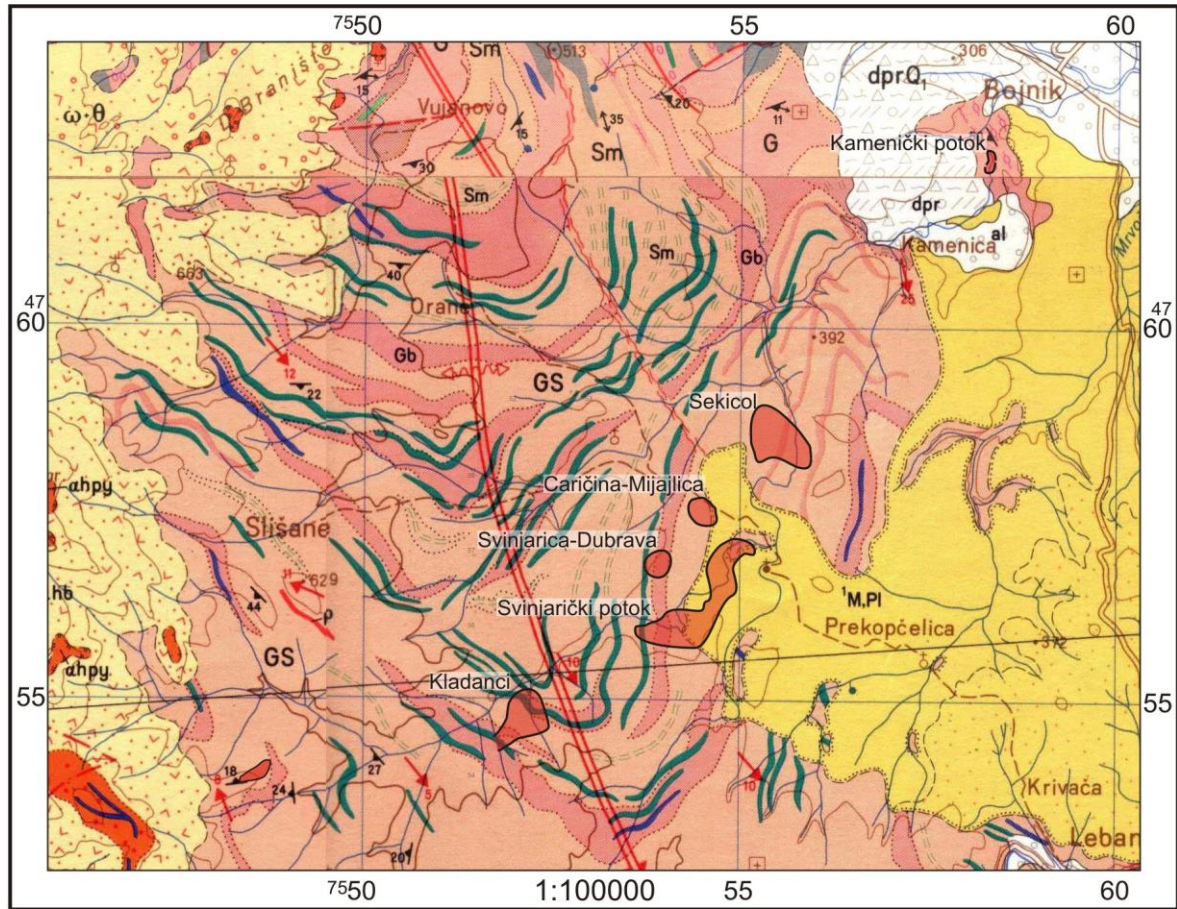
manjoj meri, uočeno je prisustvo odlomaka ahata sa ametistom, za koje se pretpostavlja da potiču iz ležišta Rasovača. Odlomci koji predstavljaju nove varijetete juvelirskog kamena govore u prilog visoke potencijalnosti leckog vulkanskog kompleksa u pogledu juvelirskih mineralnih resursa.

Pojava silifikovanog drveta u leckom vulkanskom kompleksu je očekiva, posebno ako se ima u vidu postojanje termalnih izvora silicijskog sastava. Mogući mehanizam petrifikacije biogenih tvorevina detaljnije je razmotren u okviru poglavlja *Geneza nalazišta juvelirskog kamena*.

## 5.7. Grupa pojava juvelirskog kamena u istočnom obodnom delu leckog vulkanskog kompleksa

U geološkim tvorevinama, prvenstveno različitim sedimentima, koji se nalaze u neposrednom kontaktu sa istočnim obodnim delom vulkanskog kompleksa Lece, poznato je više nalazišta juvelirskog kamena. Genetski posmatrano, pomenuta nalazišta pripadaju klasi ležišta mehaničkih sedimenata, odnosno pojavama juvelirskih sirovina u nanosima deluvijalnog, proluvijalnog, aluvijalnog i jezerskog tipa. Iako se radi o nalazištima juvelirskog kamena koje se nalaze izvan granica vulkanskog kompleksa (čak i na desetak kilometara udaljenosti), samim tim i izvan prostora koji je definisan predlogom ove disertacije, zbog očigledne genetske veze pojava u nanosima sa primarnim rudnim telima koja se nalaze u vulkanskom kompleksu, iste su detaljno prospektovane i izučene.

Geografski posmatrano, akumulacije juvelirskog kamena se nalaze na prostoru koji počinje od atara sela Kladanci, preko Svinjarice, Caričine, arheološkog nalazišta Caričin grad (Justiniana prima), sve do aluvijalnih nanosa Kameničkog potoka u blizini Bojnika. Fragmenti plemenitih silicijskih minerala nastali su kao mehanički produkti površinskog raspadanja primarnih hidrotermalnih ležišta u leckom vulkanskom kompleksu, i to, najvećim delom, silicijskih sintera. Takođe, postoji mogućnost da su hidroterme, osim onih koje su izlivenne na površini terena ili u manjim vodenim basenima oko termalnih izvora i gejzera, jednim delom izlivenne podvodno, u plitkim jezerskim uslovima u spoljnim granicama vulkanskog kompleksa.



Legenda

dprQ <sub>1</sub>	Stariji proluvijum	ω-θ	Breče i tufovi	GS	Sitnozrni gnajsevi, leptinoliti i mikašisti, neračšćlanjeni
dpr	Neračšćlanjen deluvijum i proluvijum	p	Pegmatiti	Q	Kvarciti
M,PI	Glinovito-peskovita serija	Gb	Sitnozrni biotitski gnajsevi	Nalazište (ležište/pojava) juvelirske miner. sirovine	
ahy	Andeziti	Sm	Leptinoliti i mikašisti		

Slika 29. OGK (listovi Leskovac i Niš) sa položajem nanosnih pojava juvelirskog kamena u obodnom delu leckog vulkanskog kompleksa.

Nakon formiranja, fragmenti plemenitih silicijskih minerala različite krupnoće, oblika i stepena su zaobljenosti u zavisnosti od načina i dužine transporta (gravitacionog, vodenim tokovima – povremenim ili stalnim), u dugom vremenskom periodu – od gornjeg oligocena do danas – akumulirani u raznovrsnim nanosima (deluvijalnim, proluvijalnim i aluvijalnim) od kojih su sačuvani samo najmlađi – holocenski.

Prethodno pomenuta nalazišta juvelirskog kamena pronađena su tokom 2002-2003. godine geološkim istraživanjima koja su izvršili stručnjaci Geološkog instituta Srbije



(tadašnji Geozavod IMS), Gemološkog društva Srbije i Rudarsko-geološkog fakulteta (*Ilić i dr.*, 2003; *Zlatanović i dr.*, 2004). Grupisana su u nekoliko lokaliteta: Kladanci, Svinjarički potok, Svinjarica-Dubrava, Caričina-Mijajlica, Sekicol i Kamenički potok.

Pomenuta nalazišta su svrstana u pojave usled njihovih malih razmera, nedovoljno utvrđenih karakteristika i mogućnosti dobijanja juvelirskih produkata komercijalnog kvaliteta. Pojedina nalazišta su istraživana detaljnije, tačnije, urađeno je ukupno 12 istražnih raskopa. Preliminarno procenjeni mineralni resursi na prostoru pojava Kladanci, Svinjarica-Dubrava, Caričina-Mijajlica i Sekicol iznose oko 286.500 m<sup>3</sup> (*Zlatanović i dr.*, 2003) Za početak eksploatacije na ovim pojavama bilo bi najznačajnije preciznije definisati kvalitet sirovine.

Srednja debljina površinskog sloja koji sadrži juvelirski kamen utvrđena istražnim raskopima dubine do 1,5-2 m, iznosi između 0,65 – 0,95 m. Prosečni sadržaj juvelirskog kamena utvrđen metodom linijskog procenta kreće se urasponu od 20-30%. Ukupni mineralni resursi u iznosu od 286.500,00 m<sup>3</sup>, razvrstani po pojavama iznose: Kladanci — 87.750 m<sup>3</sup>, Svinjarica-Dubrava — 32.000 m<sup>3</sup>, Caričina-Mijajlica — 48.000 m<sup>3</sup> i Sekicol — 118.750 m<sup>3</sup>.

Na osnovu analize topoloških i drugih karakteristika terena, može se očekivati da je rasprostranjenje sekundarnih pojava juvelirskog kamena veće u odnosu na ono koje je trenutno istraženo. Takođe, najverovatnije će se povećanjem stepena istraženosti utvrditi da je veliki deo ovih pojava međusobno povezan. U prilog ovome govore brojni odlomci juvelirskog kamena koji se nalaze na prostoru između poznatih mineralnih pojava. Mestimično se mogu naći i nagomilanja u vidu manjih humki koje je oformilo lokalno stanovništvo vadeći kamen iz njiva.

Grupi deluvijalnih nanosa pripada mineralna pojava Kladanci. Nagomilanja juvelirskog kamena na ovom lokalitetu, sastoje se od uglastih fragmenata plemenitih silicijskih minerala, nesortiranih po krupnoći, i u manjoj meri, fragmenata vulkanita i piroklastita.

Proluvijalni nanosi plemenitih silicijskih minerala formirani su u podnožjima brda, gravitacionim kliženjem i spiranjem fragmenata ovih minerala iz eluvijalnih i deluvijalnih nanosa, sa kojima čine sukcesivan niz. Ovi nanosi su, u pribrdskom delu, vezani za deluvijalne nanose, a u pridolinskom, često se nalaze u vezi sa aluvijalnim nanosima (za

koje su predstavljali važan izvor materijala). Poput deluvijalnih nanosa, sastoje se od uglastih fragmenata plemenitih silicijskih minerala, nesortiranih po krupnoći.

Aluvijalni nanosi sa sadržajem pomenutih plemenitih silicijskih minerala formirani su u koritima reka i potoka. Njima pripadaju pojave Svinjarički i Kamenički potok. Plemeniti silicijski minerali koji potiču iz prethodno opisanih nanosa su usled transporta više ili manje zaobljeni.

Zanimljivo je pomenuti da je u lokalnom seoskom putu južno od Caričinog grada (spaja asfaltni put Lebane-Caričin grad sa selima u podnožju Bučumeta i Petove gore) na dužini od 700 m celom širinom puta (3-4 m) uočeno postojanje brojnih fragmenata juvelirskog kamena silicijskog mineralnog sastava (slika 30). Pomenuta koncentracija juvelirskog kamena može se uslovno svrstati u grupu pojava tehnogenog tipa. Uzorci juvelirskog kamena sa ovog puta su takođe podvrgnuti juvelirskoj obradi; dobijeni rezultati su vrlo kvalitetni.

Varijetei juvelirskog kamena, u nabrojanim pojavama van vulkanskog kompleksa, odgovaraju juvelirskoj mineralnoj sirovini koja sa javlja u primarnim ležištima Bučumet i Vrtače; verovatno je da su na istom prostoru postojala i druga primarna ležišta juvelirskih sirovina koja su bila izvor materijala za stvaranje akumulacija nanosnih sedimenata a koja su erozijom potpuno uništena, kao i primarna još uvek neotkrivena nalazišta.



Slika 30. – Seoski put nasut juvelirskim kamenom.

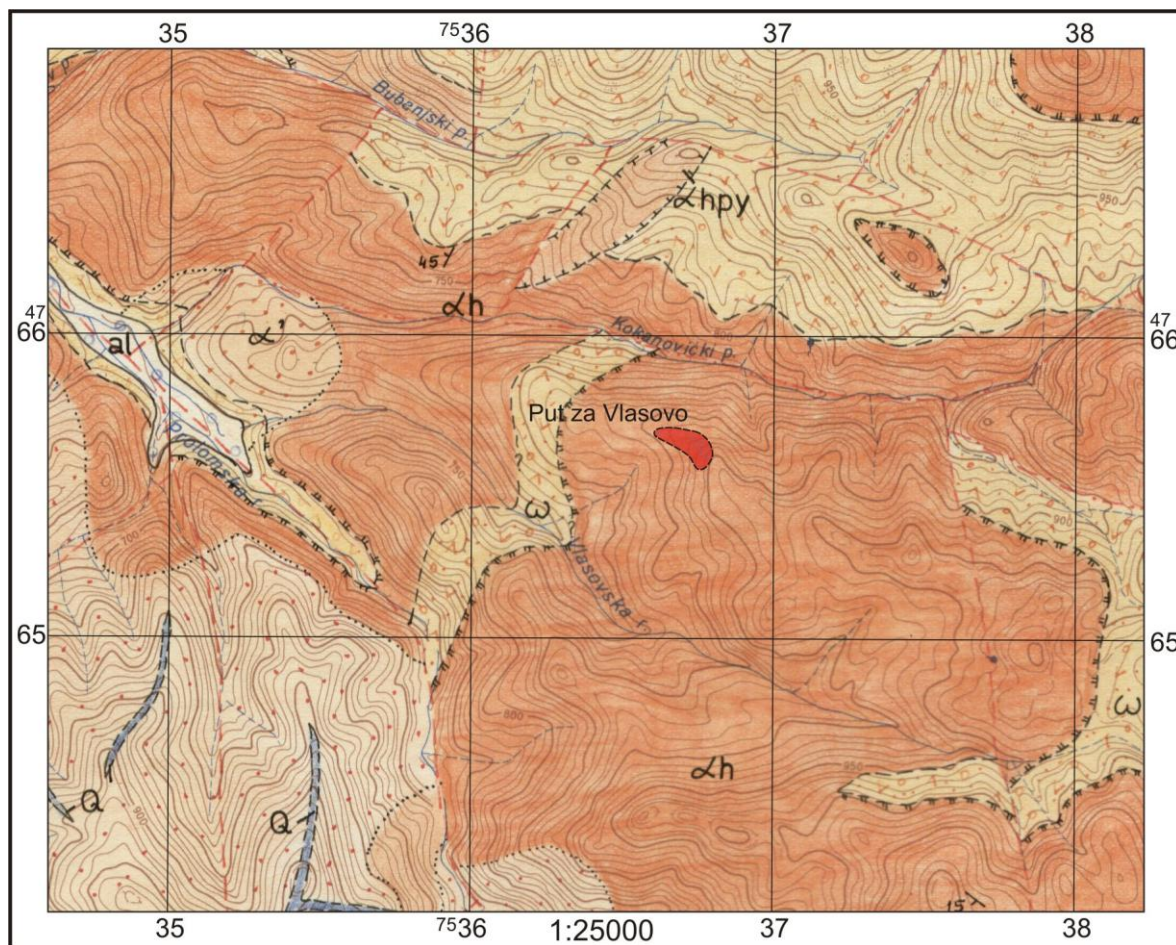
## 5.8. Pojava Put za Vlasovo

Pojava juvelirskog kamena Put za Vlasovo nalazi se u severnom delu leckog vulkanskog kompleksa, na planinskom putu koji vodi od Prolom banje ka Vlasovu. Pronađena je u periodu izrade disertacije. Od Prolom banje je udaljena oko 3,5 km u smeru istoka i nalazi se. Pojava je locirana zahvaljujući postojanju lokalnog kamenoloma, iz kojeg se kamen koristi za nasipanje planinskih puteva.

Matične stene su predstavljene hornblenda andezitima, koji nisu značajnije hidrotermalno alterisani. Duža osa kamenola je pružanja S-J; u njegovom severnom delu se uočava paralelopipedno lučenje andezitske stenske mase, kao i pukotine raznih orijentacija. Juvelirska mineralna sirovina je predstavljena kalcedonom i ahatom koji se na lokalitetu nalaze u vidu žica i gnezda manjih dimenzija. Kalcedon je prozračan i bezbojan, beo do plavičasto-siv. U žicama i gnezdima sa kalcedonom nalaze se koncentracije oksida mangana u vidu skrama i nagomilanja u centru kalcedonskih žica.



Slika 31. – Kalcedonska žica u andezitu na pojavi Put za Vlasovo. U sredini žice (crno) zapaža se koncentracija praškastog oksida mangana. Desno od žice vide se manje kalcedonske žilice u relativno svežem andezitu.



### Legenda

	Hidrotermalno izmenjeni andeziti		Hornblenda andeziti		Rased pretpostavljen
	Piroksenski andeziti		Piroklastiti		Nalazište (ležište/pojava) juvelir. min. sir.
	Hornblenda piroksenski andeziti		Kvarcna žica		

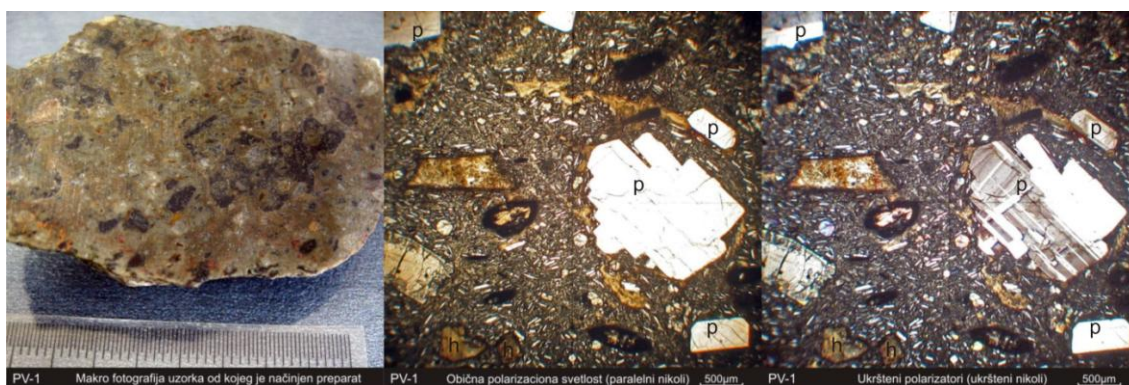
Slika 32. – Geološka karta šire okoline pojave juvelirskog kamena Put za Vlasovo

Pojava juvelirskog kamena Put za Vlasovo pripada grupi teletermalnih, hidrotermalnih ležišta vulkanskih ahata. Na hidrotermalno poreklo kalcedona ukazuju rezultati optičkih petrografskih, hemijskih ICP i DTA analiza.

Karakteristično je da su andeziti vrlo niskog stepena alteracije, kao i da brečizacija u potpunosti izostaje. Takođe, ne uočava se višefaznost u prinosu silicije putem hidrotermalnih rastvora. Juvelirski kamen je jednoobrazan; nema brojnih varijeteta po boji i teksturnim karakteristikama. U osnovi se radi o kalcedonu, prozračnom skoro bezbojnom do plavičastom, koji mestimično prelazi u ahat kada se naizmenično smenjuju bezbojne sa belim ili plavičastim trakama kalcedona.

Žice kalcedona su različite prostorne orijentacije. Njihova veličina se kreće u rasponu od par centimetara do 10-ak centimetara. Veličina gnezda odnosno ahatnih nodula je nešto veća ali ne prelazi 20-ak cm.

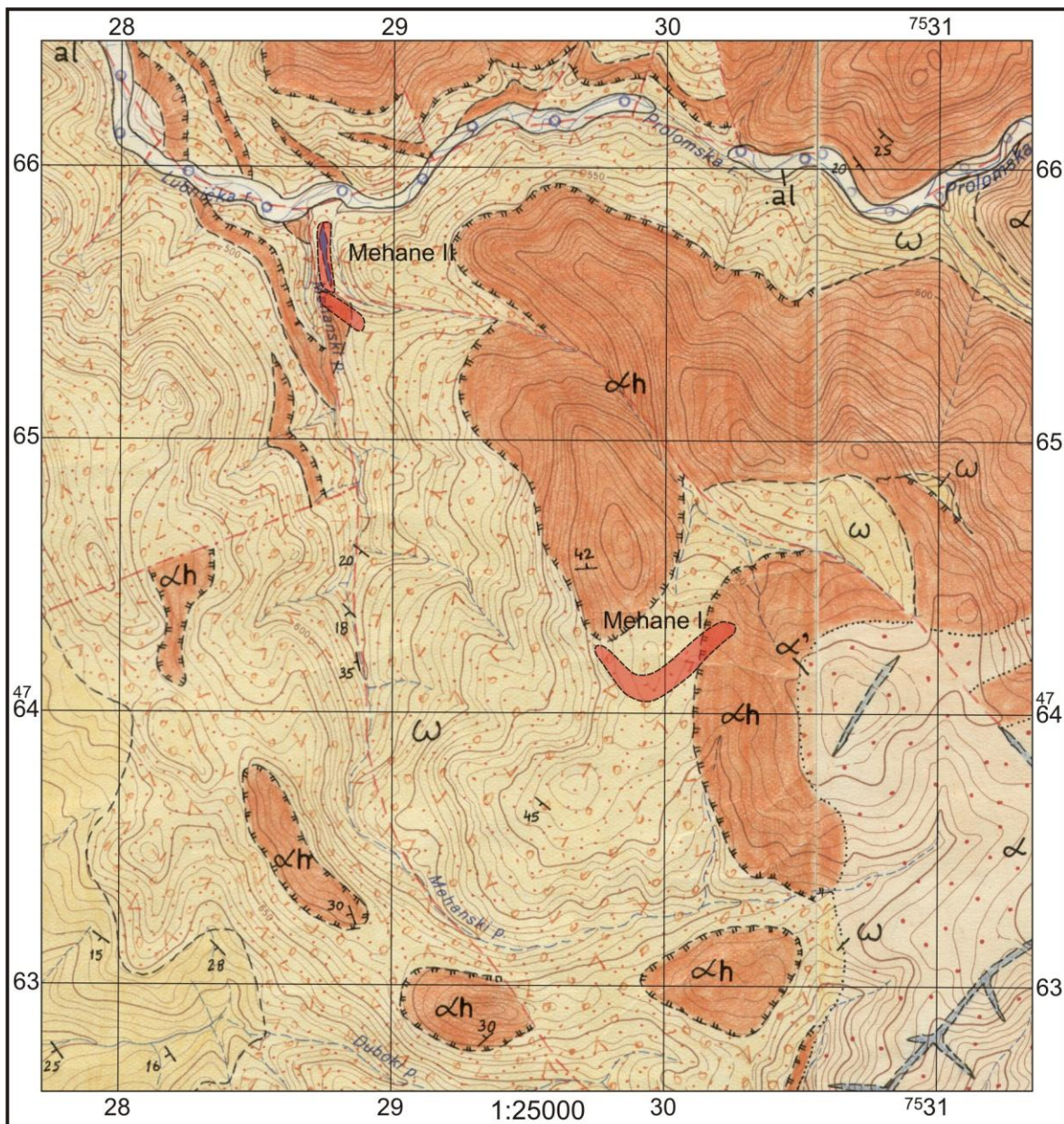
Pojava Put za Vlasovo je po pružanju prosleđena na vertikalnom odseku kamenoloma i, delom, u useku lokalnog puta; zahvata prostor veličine oko 150 x 50 m. Moguće je da je i većih razmera, budući da je neposredna okolina kamenoloma pokrivena šumom i humusnim pokrivačem. Na osnovu morfoloških karakteristika i strukturne građe terena, kao i izgleda preparata andezita pod petrografskim mikroskopom (slika 33) može se zaključiti da adezitska masa u kojoj se javljaju kalcedonske žice predstavlja lavični izliv. Tome u prilog govori i preslojavanje andezita sa piroklastitima na oko 350 m istočno od pojave.






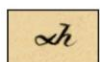


Slika 33. – Fluidalno raspoređeni mikroliti u osnovnoj masi andezitskog uzorka sa pojave Put za Vlasovo jasno ukazuju da se radi o lavičnom izlivu. p – plagioklas.

## 5.9. Pojava Mehane I

Pojave juvelirskih mineralnih sirovina Mehane I i Mehane II pronađene su tokom izrade disertacije. Nalaze se na relativno bliskom rastojanju i vezane za istu vulkansku strukturu - sekundarni vulkanski centar Mehane, koji se nalazi u spoljnjem obodnom delu Đavoljevaroške kaldere (*Serafimovski*, 1993). Na širem području pojava uočava se struktura urušene kaldere. U njenom centralnom delu dno je izdignuto što verovatno predstavlja posledicu višestrukog priliva magme i novih vulkanskih erupcija (slika 34). Morfostrukturne karakteristike i geološki sastav terena svedoče u prilog izdvojenog vulkanskog centra.



Legenda

	Hidrotermalno izmenjeni andeziti		Piroklastiti		Rased pretpostavljen
	Hornblenda andeziti		Kvarcna žica		Nalazište (ležište/pojava) juvelir. min. sir.

Slika 34. – Geološka karta šire okoline pojava juvelirskog kamena Mehane I i Mehane II

Pojava Mehane I je na trenutnom nivou istraživosti manje veličine od Mehane II i, otuda je, verovatno i manjeg geološkog i ekonomskog značaja. Prostorno posmatrano, nalazi se u neposrednoj blizini sela Mehane; od Prolom banje je udaljena oko 5 km u smeru IJI.

Geološki posmatrano, pojava Mehane I se nalazi u centralnom izdignutom delu vulkanske strukture u čijoj građi dominantne litološki članovi čine hornblenda andeziti i

andezitski piroklastiti (većinom vulkanskim brečama i aglomeratima). Prostorno posmatrano, odlomci juvelirskog kamena (kalcedon) se nalaze na zaravnjenom delu terena, na lokalnom seoskom putu. Sudeći prema geološkoj građi terena i njegovim topološkim karakteristikama, verovatno se radi o fragmetima plemenitih minerala koji su nastali u procesima površinskog raspadanja primarnih akumulacija u zonama izdanaka i, delom, usled pojačane tektonske aktivnosti. Karakter nanosa nije moguće pouzdano utvrditi; pretpostavlja se da je eluvijalnog tipa. U prilog prethodno iznete teze svedoči prisustvo nezobljenih odlomaka juvelirskog kamena. Zbog visokog stepena pokrivenosti terena, bez dodatnog istražnog raskopavanja nije bilo moguće pouzdano potvrditi ovu pretpostavku. U neposrednoj blizini pojave, međutim, oko 300 m severno u useku iznad lokalnog potoka, pronađeni su izdanci andezita ispresecani kalcedonskim žilicama. Njihova zastupljenost nije dovoljno velika da bi predstavljali samostalnu pojavu juvelirskog kamena.

Razmere pojave juvelirskog kamena na površini terena su 500x150 m. Veličina framenata kalcedona koji se na pomenutom prostoru nalaze su veličine od par centimetara do oko 20-30 cm. Osnovna masa kalcedona je uglavnom prozračna sa uklopcima različite boje. Osim kalcedona koji dominira na ovom prostoru, u sastavu juvelirskog kamena manjim delom učestvuje i mikrokristalni kvarc, što se uočava samo u petrografskim preparatima. Na osnovu rezultata laboratorijskih analiza može se zaključiti da je nastanak kalcedona vezan za hidrotermalni stadijum, ali bi ova pojava spadala u sekundarni tip ležišta u vidu eluvijalnog nanosa neutvrđene debljine.

U blizini pojave nalaze se prilično velike mase silifikovanih andezita, koji takođe, predstavljaju perspektivnu površinu za pronalaženje ležišta juvelirskog kamena (položaj dat na prognoznoj karti). Pojedini uzorci intenzivnije silifikovanog andezita imaju karakteristike pejzažnog jaspisa te se mogu koristiti kao juvelirski kamen.

## 5.10. Nalazište Mehane II

Nalazište Mehane II se nalazi u ataru sela Mehane. Od prethodno opisane pojave Mehane I udaljeno je oko 1,5 km u smeru SZ, odnosno oko 4 km ka zapadnu od Prolom banje. Nalazište je pronađeno tokom izrade disertacije.

Analogno pojavi Mehane I, nalazište Mehane II je vezana za strukturu vulkanskog aparata Mehane. Lokalizovana je u njenom severnom obodnom, u blizini zida kaldere. Pripada epitermalno-hidrotermalnom tipu orudnjenja. Rudna tela su oblika žica, formirana duž subvertikalne linearne razlomne strukture generalnog pravca pružanja S–J koja, verovatno, čini deo radijalno-prstenaste strukture vulkanskog centra.

Plemeniti minerali (ahat i kvarc) na prostoru nalazišta Mehane II se nalaze u hornblenda andezitima i andezitskim piroklastitima. Pad kvacnih žica u donjem, severnom delu razlomne zone je ka zapadu i, delom, ka istoku (posebno gornji, južni deo razlomne zone).

Širina zone u kojoj se nalaze kalcedonsko-kvarcne žice iznosi od 5 do 30-ak metara, dok su njihovi izdanci po pružanju prosleđeni na rastojanju od oko 250 m. Brojne ahatne žice uočene su i u useku lokalnog puta koji preseca rudonosnu zonu, kao i na površini terena u hipsometrijski nižem delu pojave (na oko 450 mnv), u zoni širine oko 30-ak metara. Sa porastom nadmorske visine, na padinama Mehanske planine kvarcna zona postepeno isklinjava i potpuno nestaje u trošnim andezitima na oko 490-500 mnv. Pretpostavlja se da je u nižim delovima terena stepen erozije znatno viši što je verovatno uticalo na otvaranje rudonosne strukture.



Slika 35. – Izdanci ahata na pojavi Mehane II.

Za razliku od kvarcno-brečaste zone Šuta–Rasovača, odnosno ležišta Rasovača, u nalazištu Mehane II osim produkata višestruke hidrotermalne aktivnosti ne uočava se intenzivna i višestruka brečizacija.

U gornjem delu glavne rudonosne strukture, nalazi se manja struktura generalnog pružanja ZSZ–IJI, koja preseca glavnu strukturu. U domenu njenog rasprostranjenja, način pojavljivanja silicijskih minerala je drugačiji. Uglavnom se radi o kalcedonu različitih boja koji



gradi manja rudna tela složene morfologije i gnezda u vulkanskim brečama. Pružanje i karakteristike pomenute zone je mnogo teže pratiti, jer se na površini uočava u vidu oskudnih izdanaka na zaravnjenom delu terena.

Kvarcne žice su nosioci različitih varijeteta juvelirskog kamenja – najvećim delom su to raznobojni ahati, kvarc – gorski kristal i ametist i, u manjoj meri, jaspis. Kvarc u vidu gorskog kristala i ametista, veličine do 2 cm, ispunjava šupljine u andezitima u vidu druza i geoda. Takođe, kvarc, ali manjih razmera, ispunjava središnje delove ahatnih žica (bezbojni kvarc i ametist). Kvarcne žice dominantno izgrađuje ahat pretežno kalcedonskog sastava, ali se javljaju i trake kristalastog kvarca, koji se uočava tek pod mikroskopom. Kalcedonske trake u ahatu su raznih boja – bele, plavičaste, lubičaste, crvene, braonkaste, do crne. Ahat često ima teksturne karakteristike čipkastih ahata.

U ahatu se mestimično nalaze skrame minerala mangana, kao i sitnih kristala barita. Kristali barita su ponekad u potpunosti silifikovani.

Nalazište Mehane II je pri oceni mineralne potencijalnosti terena, tretirano kao ležište, uprkos izostanku istražnih radova. Osnovni povod za takav pristup bili su rezultati terenskih opservacija bazirani na veličini rudnih tela i kvalitetu mineralne sirovine. Iz ovih razloga, pomenuto nalazište pripada grupi geološki i ekonomski značajnijih nalazišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa.

## 5.11. Pojava Đake

Pojava juvelirskih mineralnih sirovina Đake nalazi se u centralnom delu leckog vulkanskog kompleksa, u ataru sela istoimenog sela. Od Prolom banje je udaljena oko 6 km ka jugu, a od Đavolje varoši oko 1-1,5 km. U geološkom pogledu, nalazi se na postoru Đavoljevaroške kaldere. Urušeno dno kaldere je naknadnim vulkanskim i tektonskim aktivnostima značajno izdignuto. U neposrednoj blizini pojave nalazi se i nekoliko manjih, sekundarnih vulkanskih centara. O intenzivnoj vulkanskoj aktivnosti ovog područja najslikovitije svedoči vulkanski nek Velikog krša (slika 36).



Slika 36. – Struktura vulkanskog aparata – vulkanski nek – Veliki krš, Đake

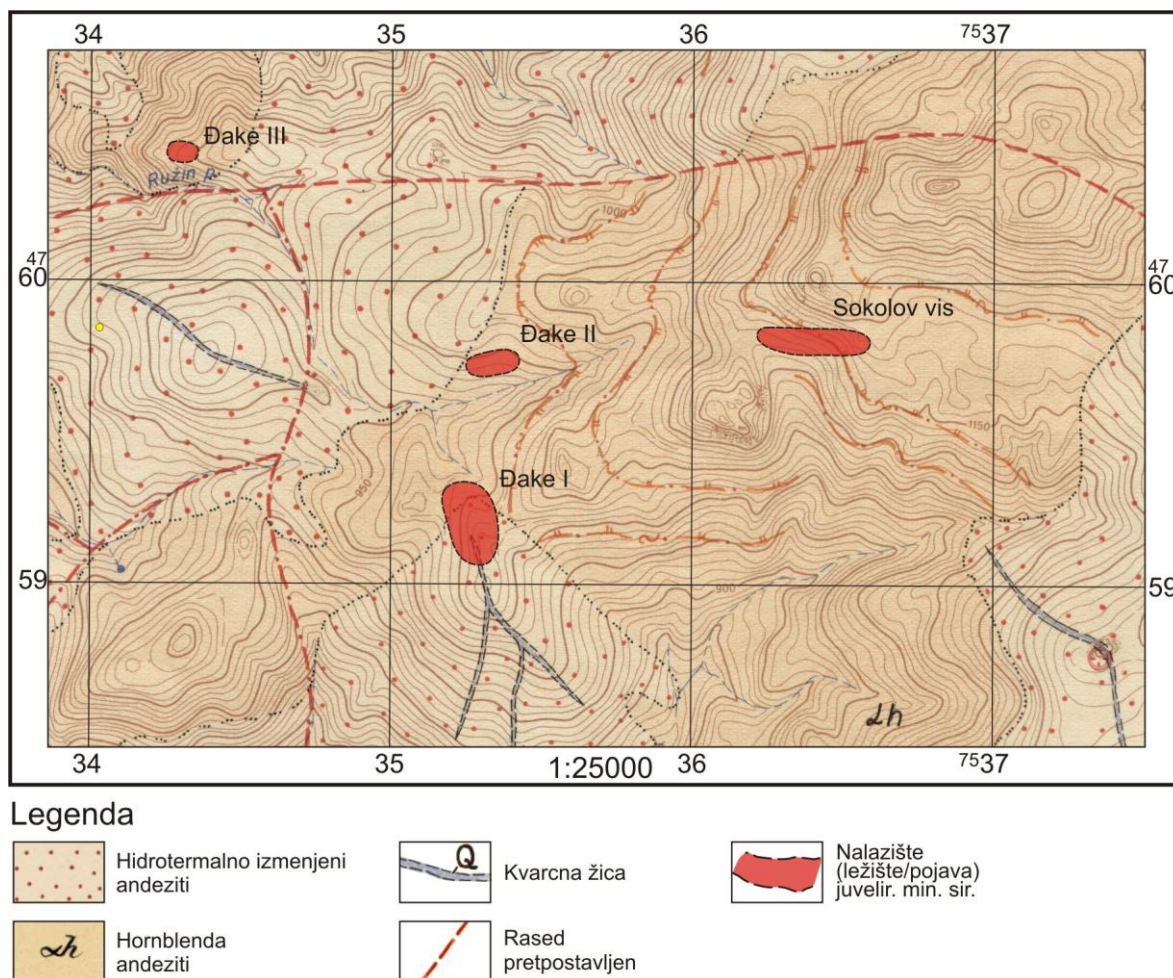
Pojava Đake zapravo predstavlja grupu prostorno bliskih pojava - Đake I, II i III, tipa mehaničkih sedimenata. Pronađena je u periodu izrade disertacije. Istražena je na peliminarnom nivou. Debljina nanosa ni u jednom slučaju nije pouzdano utvrđena, jer nije bilo detaljnijih geoloških istražnih radova. Imajući u vidu konfiguraciju terena, zatim, da se ove pojave nalaze na nadmorskoj visini od oko 900-1000 mnv, kao i njihov položaj u odnosu na vulkanske strukture, može se pretpostaviti da se primarna rudna tela juvelirskih sirovina koja su predstavljala izvor za formiranje sekundarnih pojava Đake, lokalizovana u njihovoj neposrednoj blizini. Naravno, postoji i mogućnost da su ista procesima erozije u potpunosti razorena. U prilog postojanju primarnih nalazišta svedoči obližnji lokalitet Sokolov vis na kome se nalaze rudnim telima hidrotermalnog nastanka.

Geološku sredinu prostorne lokalizacije grupe pojave Đake čine horblendna andeziti, a delom i na hidrotermalno alterisani – silifikovani andeziti.

Đake I je manja pojava juvelirskog kamena locirana u hidrotermalno alterisanim, odnosno opalitisanim andezitima i jaspisu braon-crvene boje. Odlomci plemenitih minerala su veličine od par centimetara do 20-ak cm, nezaobljeni do blago zaobljeni. Budući da se nalaze na padini terena, pripada grupi pojava juvelirskog kamena tipa mehaničkih sedimenata, odnosno deluvijalnog podtipu.

Đake II je manja pojava koja se nalazi na padini koja gravitira ka udolini izvorišnog dela Ružinog potoka. Kao i pojava Đake I, najverovatnije je deluvijalnog tipa. Odlomci juvelirskog kamena su nešto većih razmera nego u prethodnom slučaju; dostižu dimenzije od oko 30-ak cm. Stepenn zaobljanosti odlomaka je, takođe, nizak. Juvelirski kamen je predstavljen različitim varijetetima jaspisa — šareni jaspisi (dominantno braonkastih nijansi

sa prelazima ka crvenoj)), brečizirani jaspisi istih boja i crveni jaspisi sa ređim prelazima ka svetlo braonkasto-naranžastoj boji.



Slika 37. – Geološka karta šire okoline pojava juvelirskog kamena Đake (I, II i III) i Sokolov vis

Đake III je pojava juvelirskog kamena deluvijalnog tipa. U pogledu geoloških karakteristika ne razlikuje se bitnije od dve prethodne opisane pojave. Osnovna razlika se ogleda u tome što dominantnu juvelirsku sirovinu čine crveni jaspisi, delom ispresecani žilicama kalcedona plavičaste boje.

## 5.12. Pojava Sokolov vis

Pojava Sokolov vis nalazi se u centralnom delu leckog vulkanskog kompleksa, oko 8 km ka jugu udaljena od Prolom banje (atar sela Đake). U njoj blizini, na oko 2 km ka SZ, nalazi se geomorfološki fenomen Đavolja varoš.

Prema Pešutu (Pešut, 1965), Karamati (Karamata, 1971) i Serafimovskom (Serafimovski, 1993), prostor na kojem se nalazi pojava Sokolov vis i grupa pojava Đake, pripadaju vulkanskoj strukturi Đavoljevaroška kaldera. Međutim, treba imati u vidu da svaki od pomenutih autora ima drugačije viđenje o položaju i veličini ove kaldere, tako da će konačan odgovor na ovo pitanje biti dobijen izučavanjima koja će biti izvršena u narednom periodu. U svakom slučaju, u neposrednoj blizini obe pomenute pojave, uočava se više vulkanskih centara koji svedoče o višestrukoj i dugotrajnoj vulkanskoj aktivnosti (slika 36).

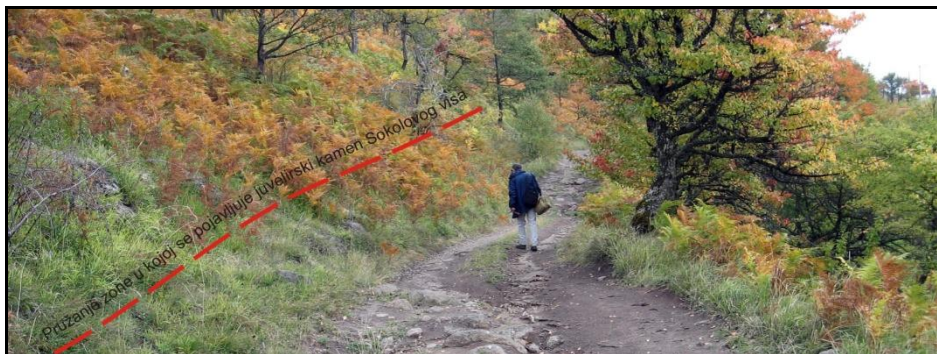
Pojavu Sokolov vis i njenu neposrednu okolinu izgrađuju hornblenda andeziti. Nalazi se u neposrednom podnožju Sokolovog visa, jednog od najviših u okviru leckog vulkanskog kompleksa, koji najverovatnije predstavlja jedan od pomenutih vulkanskih centara, kao i Mali krš, koji se nalazi stotinak metara južno od pojave (slika 37).

Sokolov vis je primarno teletermalno hidrotermalno orudnjenje vulkanskih ahata. Osim primarnog pojavljivanja u vidu žilica i nodula (manjih gnezda), na istom prostoru se nalazi i veliki broj odlomaka juvelirskog kamena. Njihova veličina se kreće od par do 20-ak centimetara; potpuno su nezaobljenih ivica što ukazuje na kratak transport odnosno neposrednu blizinu primarnog rudnog tela.

Juvelirske mineralne sirovine su prozirni kalcedon, ahata i crveni jaspis. Takođe, poznati su i varijeteti intenzivnije obojenih ahata - pored češćih plavičastih, sivkasti do skoro bezbojni. Takvih ahata u intenzivnijim bojama ima manje od bleđih varijeteta, ali je njihovo prisustvo značajno, jer se radi o nedovoljno istraženoj pojavi.



Slika 38. – Mikrofotografije petropreparata uzorka matičnih stena pojave juvelirskog kamena Sokolov vis. p – plagioklas, h – hornblenda, b – biotit.



Slika 39. – Pojava Sokolov vis. Levo od puta se nalazi zona u kojoj se pojavljuju ahati, kalcedoni i jaspisi, čije praćenje je veoma otežano zbog guste vegetacije.



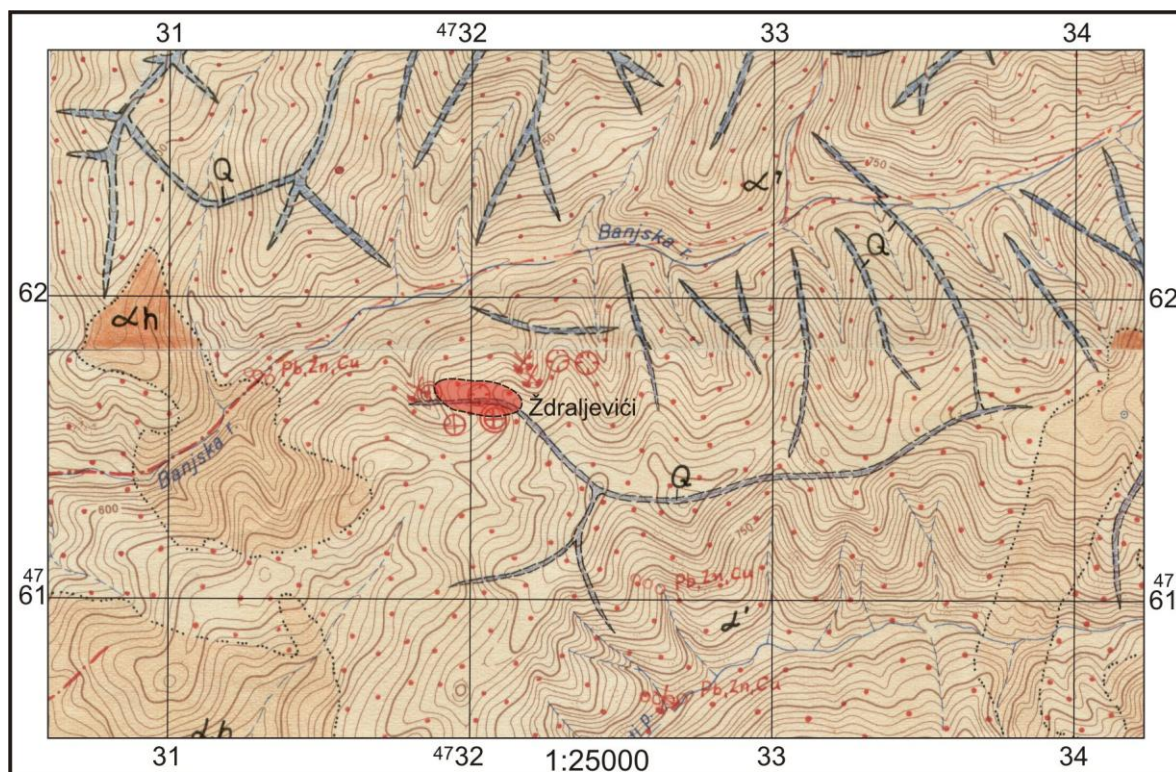
Slika 40. – Pojavljivanje juvelirskog kamena na Sokolovom visu. Trošni i alterisani andeziti u kojima se nalazi juvelirski kamen – levo; ahati, kalcedoni i jaspisi iskopani sa Sokolovog visa – desno.

Iako se radi o relativno maloj pojavi juvelirskog kamena, mišljenja smo da je njena važnost veća kada se uzme u obzir perspektivnost ovog dela leckog vulkanskog kompleksa, u kome do sada nisu bile poznate pojave juvelirskog kamena.


### 5.13. Pojava Ždraljevići

Pojava juvelirskih mineralnih sirovina Ždraljevići nalazi se u centralnom delu leckog vulkanskog kompleksa, u neposrednoj blizini istoimenog zaseoka. Od Prolom banje je u smeru juga udaljena oko 5 km. U njenoj blizini nalazi se i park prirode Đavolja Varoš. Pojava je pronađena tokom istraživanja u periodu izrade disertacije, a zahvaljujući prisustvu ostataka brojnih istražnih radova koji su na ovom prostoru vršeni radi istraživanja metalčnih mineralnih sirovina. Prvi podaci o njenom prisustvu na terenu uočeni su u istražnom raskopu čija je dužina iznosila oko 70m, širine 1-1,5 m dubina oko 1,5 m; azimut duže ose raskopa je 45°.

Prema Serafimovskom (Serafimovski, 1993), uže područje terena na kome se pojava Ždraljevići nalazi, vezano je ostatke Đavoljevaroške kaldere. Osim juvelirskih mineralnih sirovina, u ovom delu leckog vulkanskog kompleksa nalazi se i više pojava polimetalne mineralizacije.



#### Legenda

	Hidrotermalno izmenjeni andeziti		Piroklastiti		Rased pretpostavljen
	Hornblenda andeziti		Kvarcna žica		Nalazište (ležište/pojava) juvelir. min. sir.

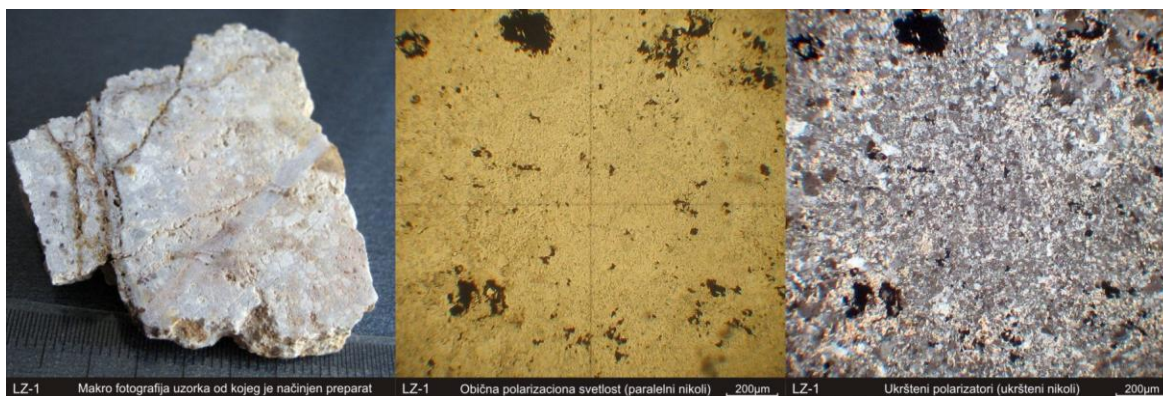
Slika 41. – Geološka karta šire okoline pojave juvelirskog kamena Ždraljevići

Prostor na kojem je locirana pojava juvelirskog kamena (kvarca), izgrađen je od hidrotermalno alterisanih, silifikovanih andezita. Prema podacima Osnovne geološke karte Sfr Jugoslavije, list Kuršumlija (sl. 41), u široj okolini pojave Ždraljevići nalazi se više kvarcnih žica od kojih većina nije juvelirskog karaktera.

Juvelirske mineralne sirovine na području pojave Ždraljevići vezane su za razlomnu zonu dužina par stotina metara, čija je širina oko 10-ak m. Osim u razlomnoj zoni nezaobljeni fragmenti juvelirskog kamena nalaze se i na padinama terena; njihova veličina je od par centimetara do 30-ak cm. Kvarcne žice su debljine od par do tridesetak centimetara.

Prostorna orijentacija kvarcnih žica u razlomnoj zoni je haotična - najverovatnije usled njihove višestruke brečizacije. Na osnovu analize do danas prikupljenih podataka, juvelirska mineralna sirovina se na ovom prostoru verovatno nalazi na znatno većoj površini od one koja je do sada utvrđena, a o čemu svedoče brojni odlomci plemenitih minerala na padini terena iznad razlomne zone i istražnog raskopa.

Juvelirska mineralna sirovina predstavljena najvećim delom je predstavljena kvarcom različitih boja. Na osnovu analize strukturnih karakteristika mineralne sirovine, pretpostavlja se da se radi o podvarijetetu kalcedona, ahatu – budući da se u njemu uočavaju raznobojne koncentrične trake. Na osnovu rezultata laboratorijskih analiza (optička mikroskopija, rendgenska difrakcija, refraktometrija i merenje specifične težine), međutim, utvrđeno je da se skoro isključivo radi o kvarcu.



Slika 42. – – Mikrofotografije petropreparata uzoraka matičnih stena pojave juvelirskog kamena Ždraljevići. Alterisani (silifikovani) andezit ispresecan je žičicama kvarca (levo), čiju je osnovnu masu upotpnosti zamenio mikrokristlasti kvarc (sredina i desno).

Posmatrano sa aspekta ekonomskog značaja, od posebnog interesa je pojava ljubičastog kvarca – ametista. Na osnovu dostignutog stepena istraženosti, ametist relativno svetlijih nijansi, najčešće se nalazi u vidu koncentričnih traka i međusobno sraslih kristala kvarca. Kvarcne trake su katkad i zelene, žučkaste, bele i crvenkaste boje, što juvelirskom kamenu uz njihovu prostornu smenu, daje atraktivan izgled.

U prilog potencijalnosti ovog dela vulkanskog kompleksa u pogledu mineralnih sirovina svedoče brojni komadi kvarca (var. gorskog kristala) koji je uočen s obe strane planinskog puta, koji vodi od Milosavljevića ka Ždraljevićima. Kristali gorskog kristala su veličine od oko 1 cm do nekoliko (3-4) centimetara. Skoro u potpunosti su nezaobljenih ivica što ukazuje na njihov kratak transport i malu udaljenost od primarnih izvora. Pojedini komadi kvarca su kvaliteta koji je pogodan za fasetiranje. Pored gorskog kristala na istom prostoru su pronađeni i odlomci vrlo lepog crvenog i šarenog jaspisa.



Slika 43. – Istražni geološki raskop na pojavi Ždraljevići



Slika 44. – Izgled juvelirske mineralne sirovine (gore) i alterisanog (silifikovanog) andezita prožetog kvarcnim žilicama (dole)

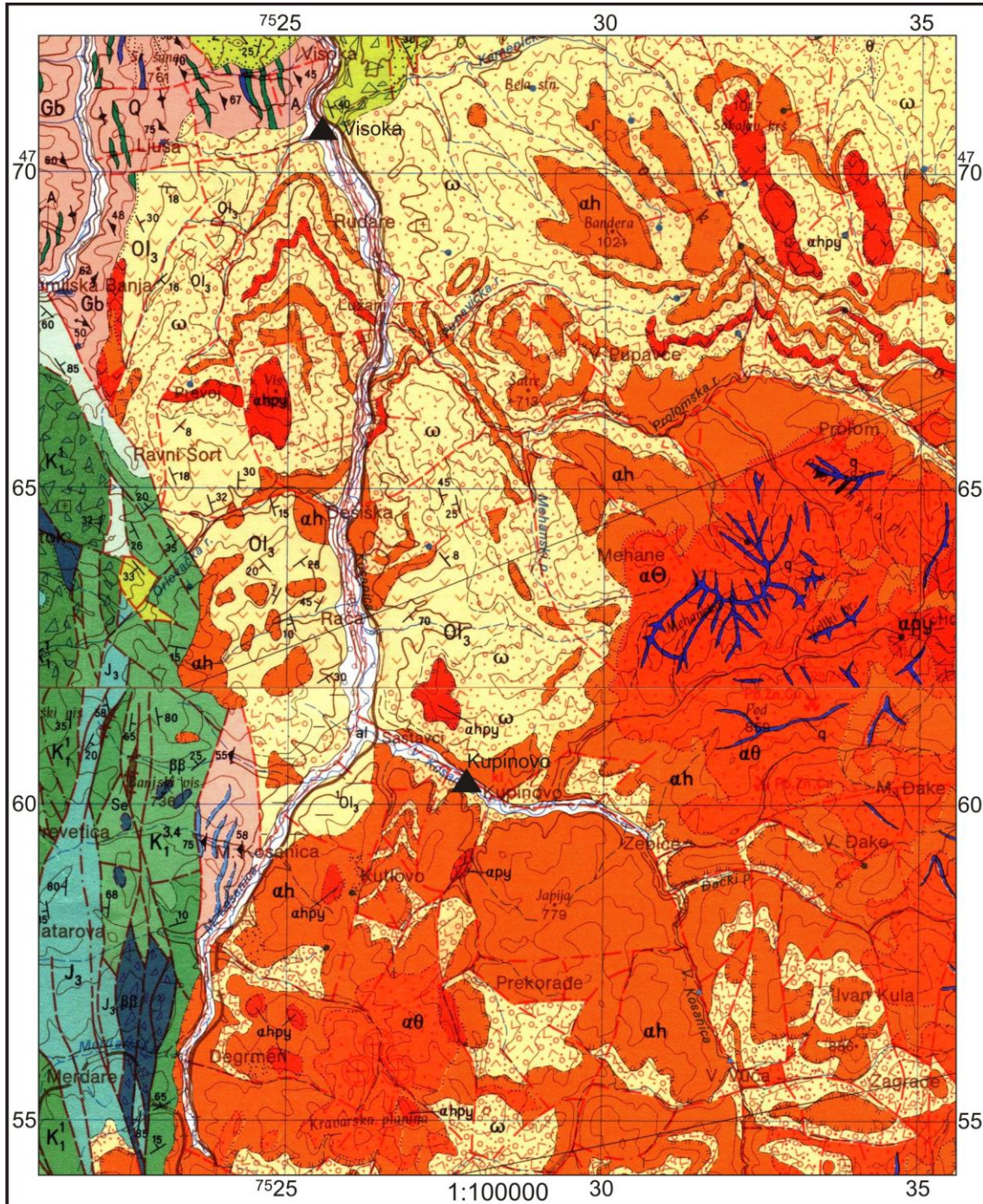
## 5.14. Aluvion Kosanice

Reka Kosanica zajedno sa pritokama Malom i Velikom Kosanicom čini najveći vodeni tok koji protiče kroz lecki kompleks. On drenira veliki deo centralnog, celokupan zapadni, a preko Prolomske reke i, značajno područje severnog dela kompleksa.

Tokom izrade disertacije izvršena je geološka prospekcija rečnog toka i aluvijona Kosanice.

Osnovni rezultat istraživanja je pronalazak povišenih koncentracija silicijskih minerala juvelirskog kvaliteta. Osim već poznatih varijeteta juvelirskog kamena, na ovom prostoru su pronađeni i novi plemeniti minerali - crni kalcedon, ahata tipa mađarskog Matra ahata i par novih varijeteta jaspisa. Njihov pronalazak je od izuzetnog značaja za ocenu mineralne potencijalnosti ovog prostora, jer ukazuje na moguće postojanje novih nalazišta u drugim nedovoljno neistraženim delovima vulkanskog kompleksa koje reka Kosanica drenira (severni, centralni i zapadni deo leckog vulkanskog kompleksa).





Legenda

 Aluvijum	 Hornblenda piroksenski andeziti	 Vulk.-sedim. serija: konglomerati, peščari, glinci, laporci, tufovi i tufiti; krečnjaci	 Sltnozni biotitski gnajsevi i dvoliskunski gnajsevi
 Sekundarni kvarciti	 Hornblenda andeziti	 Krupnozrni peščari i mikrokonglomerati (barem, apt)	 Nalazište (ležište/pojava) juvelirske miner. sirovine
 Hidroterm. promjenjeni andeziti, vulkanske breče i tufovi	 Vulkanske breče i tufovi	 Mikrokonglomerait i peščari (valendis)	
 Piroksenski andeziti	 Tufovi	 Dijabaz-rožnačka formacija: peščari, krečnjaci, rožnaci i glinci	

Slika 45. – Geološka karta severozapadnog dela leckog vulkanskog kompleksa sa pojavama juvelirskog kamena u aluvijonu Velike Kosanice i Kosanice

Povišene koncentracije juvelirskog kamena u rečnim sedimentima Kosanice i njenim pritokama, nalaze se na više mesta. Kao posebno značajne, izdvajaju se dve lokacije: Kupinovo i Visoka. U ostalim lokalitetima, aluvijalni nanos je pretvoren u obradivo zemljište (često zapušteno) ili je pod vegetacijom i površinskim pokrivačem, što se negativno odrazilo na mogućnost direktnih terenskih proučavanja.

Na lokaciji kod Kupinova Velika Kosanica teče preko terena ravničarskog tipa, u kome slabi vodena moć, odnosno u kojoj je formiran relativno veliki i debeo aluvijalni nanos. U jednom delu, on se koristi kao izvor šljunka za potrebe lokalnog stanovništva i za nasipanje lokalnih puteva. Prethodno je predstavljalo posebno otežavajuću okolnost tokom izučavanja sastava aluvijalnog nanosa.

U aluvijalnom nanosu se nalazi veći broj odlomaka raznovrsnih varijeteta juvelirskog kamena, različitih dimenzija i stepena zaobljenosti. Pretpostavlja se da je ukupna debljina nanosa oko 2,5-3 m. U delu aluvijalnog nanosa koji se nalazi u blizini Kupinova, na prostoru od oko 350x100 m, u sastavu rečnih sedimenata preovlađuju odlomci vulkanita i njihovih piroklastita, dok su odlomci juvelirskog kamena prisutni u maloj količini ali relativno ravnomerno raspoređeni u celokupnoj masi nanosa. Iako koncentracija juvelirskog kamena nije visoka, računajući celokupnu masu nanosa, može se pretpostaviti da se na ovom prostoru nalaze njegove ekonomski značajne količine.



Slika 46. – Aluvijon Velike Kosanice kod Kupinova u kojem su utvrđene povišene koncentracije juvelirskog kamena

U sastavu rečnog nanosa uočeno je prisustvo crvenog jaspisa, bezbojnog, plavičastog i žućkastog prozračnog kalcedona i ahata, ahata tipa Mehane II, crni kalcedoni, ahat tipa mađarskog Matra ahata i raznobojni šareni jaspisi. Odlomci su najčešće veličine do

20-30-ak centimetara, ali se javljaju i manji blokovi, veći od 50 cm. Zaobljenost ivica odlomaka je različita; kreće se od prilično zaobljenih do skoro potpuno nezaobljenih.



Slika 47. – Odlomci juvelirskog kamena iz aluvijona Velike Kosanice kod Kupinova

Na lokaciji Visoka, u mirnom toku reke, koji se nalazi na samom izlazu Kosanice iz leckog vulkanskog kompleksa, u aluvijalnom nanosu utvrđena je povišena koncentracija odlomaka juvelirskog kamena silicijskog sastava. Ovde pojava juvelirskog kamena zahvata manji prostor od pojave Kupinovo.

Debljina aluvijalnog nanosa kod Visoke nije utvrđena. Stepennjene istraženosti je takođe niži u odnosu na pojavu Kupinovo. Značajno je, međutim, da se i u domenu njenog rasprostranjenja nalaze brojni i raznovrsni varijeteti juvelirskog kamena, moguće i nešto višeg stepena učestalosti u odnosu na prethodno nalazište. Veličina odlomaka je od nekoliko do tridesetak centimetara. Među ustanovljenim varijetetima juvelirskog kamena najzastupljeniji su: crveni jaspis, bezbojni, plavičasti, žućkasti, ljubičasti i crni kalcedoni prozračni ahati, kao i ahati slični ahatima sa iz nalazišta Mehane II (u većoj koncentraciji nego u aluvionu Kupinova).

Smatramo da bi dalja i intenzivnija prospekcija Kosanice, Velike Kosanice i Male Kosanice, sa bočnim pritokama, mogla dati značajne podatke o potencijalnosti velikog dela leckog vulkanskog kompleksa, što bi dovelo do pronalaska novih ležišta i pojava juvelirskog kamena.

## 6. MINERALNI SASTAV JUVELIRSKOG KAMENA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Prema rezultatima do danas sprovedenih geoloških istraživanja, osnovna juvelirska mineralna sirovina u leckom vulkanskom kompleksu je kristalna i delimično amorfna silicija. Predstavljena je kvarcnom grupom, odnosno mineralima istog hemijskog sastava a različite kristalne strukture, kao i mineralima sa nedostatkom kristalne strukture. Iako se, na prvi pogled, radi o jednorodnom materijalu, što po hemijskom sastavu svakako i jeste slučaj, treba imati u vidu da se silicija u prirodi može naći u više modifikacija, odnosno mineralnih faza. Gledajući sa stanovišta juvelirske sirovine, broj varijacija je još veći. Svi silicijski minerali svrstani su u jednu grupu – *silicijsku*, prema Daninoj klasifikaciji, odnosno *kvarcnu grupu* prema Struncovoj klasifikaciji minerala. U narednoj tabeli dali smo prikaz silicijske odnosno kvarcne grupe minerala.

Tabela 1. Silicijska (kvarcna) grupa minerala

Kvarc-tridimit-kristobalit grupa		Keatit-cezit-stišovit grupa		Amorfni mineraloidi	
$\alpha$ -kvarc	romboedarski	Keatit	tetragonalni	Lešatelierit	Prirodno silicijsko staklo
$\beta$ -kvarc	heksagonalni	Cezit	monoklinični		
$\alpha$ -tridimit	monoklinični	Stišovit	tetragonalni	Opal	SiO <sub>2</sub> gel sa sadržajem slobodne vode
$\beta$ -tridimit	heksagonalni	Sajfertit	ortorombični		
$\alpha$ -kristobalit	tetragonalni				
$\beta$ -kristobalit	teseralni				
Melanoflogit	teseralni				
Moganit	monoklinični				

U grupi juvelirskih mineralnih sirovina silicijskog sastava ubedljivo najznačajniji je kvarc, zatim opal, kristobalit, tridimit i moganit. Kvarc se nalazi u dve polimorfne modifikacije: niskotemperaturni  $\alpha$ -kvarc i visokotemperaturni  $\beta$ -kvarc. Ovi polimorfi imaju tranzicionu temperaturu od 573°C pri pritisku od 1 bara. Ispod pomenute temperature  $\beta$ -kvarc transformiše se u  $\alpha$ -kvarc. Sav kvarc na Zemljinoj površini je  $\alpha$ -kvarc, a to je i kvarc

koji je bitan za juvelirske mineralne sirovine. U našem istraživanju pod terminom kvarc smo uvek podrazumevali  $\alpha$ -kvarc.

Na ovaj način, donekle pojednostavljena slika o silicijskim mineralima, usložnjava se kada se izvrši podela kvarca na osnovu vizuelnog izgleda i mogućnosti određivanja strukturnih elemenata pod mikroskopom na sledeći način: makrokristalni, kriptokristalasti i mikrokristalasti kvarc. Pod *makrokristalnim kvarcom* su podrazumevani varijeteti kvarca koji imaju razvijene, golim okom vidljive individualne ili međusobno srasle minerale. *Mikrokristalasti kvarc* je podrazumevao kompaktne varijetete kvaarca sačinjene od sitnih kristalnih zrna koja su vidljiva pod optičkim mikroskopom, dok je *kriptokristalasti kvarc* obuhvatao varijetete čija se struktura ne može razrešiti korišćenjem optičkog mikroskopa. U narednoj tabeli dat je okvirni pregled načina na koji se ranije vršila klasifikacija kvarca.

Tabela 2. „Stara“ podela kvarca

<i>Makrokristalni kvarc</i>	<i>Mikrokristalasti kvarc</i>	<i>Kriptokristalasti kvarc</i>
Idealni predstavnik: Gorski kristal	Idealni predstavnik: Jaspis	Idealni predstavnik: Kalcedon
Primeri: Ametist Citrin Ružičasti kvarc Aventurin Tigrovo oko Sokolovo oko	Primeri: Aventurin Rožnac Heliotrop Plazma Tigrovo oko Sokolovo oko	Primeri: Ahat Karneol Hrizopras Plazma

Ovakva podela utvrđuje postepene prelaze iz jedne grupe u drugu, što se ogleda u svrstavanju aventurina i tigrovog oka istovremeno u makrokristalni i mikrokristalasti kvarc. Nedoslednost ove podele je očigledna na primeru jaspisa, koji je okarakterisan kao idealni predstavnik mikrokristalastog kvarca, pri čemu se rožnac, koji pripada istoj grupi, ne može smatrati varijantom jaspisa.

Danas su u upotrebi podele koje se mogu sumirati u podeli kvarca na makrokristalni i mikrokristalasti kvarc. Termin kriptokristalasti kvarc se koristi kao sinonim za mikrokristalasti kvarc. U čestoj upotrebi je tzv. „moderna“, odnosno pregledna klasifikacija kvarca prikazana u tabeli 3.

Juvelirska mineralna sirovina leckog vulkanskog kompleksa najvećim delom je izgrađena od mikrokristalaste i podređeno amorfne faze (najčešće kao reliktni opal, odnosno opal-CT). Zbog velike strukturne promenljivosti silicije, za utvrđivanja mineralnog sastava sirovine, od velikog značaja je bilo da usvojimo jasnu kristalografsko-hemijsku nomenklaturu.

Tabela 3. Savremena podela kvarca

<i>Makrokristalni kvarc</i>	<i>Mikrokristalasti (kriptokristalni) kvarc</i>
Idealni predstavnik:	„Vlaknasti“ varijeteti
Gorski kristal	Kalcedon
Ametist	Ahat
Ametrin	Karneol
Citrin	Hzizopras
Ružičasti kvarc	Oniks
Plavi kvarc	Sard
Mlečni kvarc	...
Čadavac	
Morion	„Zrnasti“ varijeteti
Praz	Jaspis
Praziolit	Rožnac
Tigrovo oko	Heliotrop
Sokolovo oko	...
...	

Vrlo temeljan sistem mikrokristalastih i ne-kristalnih silicijskih minerala razvio je Flörke i dr. (1991) koju je kasnije modifikovao i usavršio Graetsch (1994). Usvojili smo potonju klasifikaciju, kao i većina savremenih svetskih autora koji se poslednjih godina bave sličnom problematikom (tabela 4).

Tabela 4. Sistem mikrokristalastih i amornih (nekristalnih) silicijskih minerala (Graetsch, 1994)

Kristalna struktura ili faza	Varijetet	Podvarijetet/sinonim	Mikrostruktura	Optički karakter	Sadržaj H <sub>2</sub> O u težin. %
Kvarc	Mikrokvarc		zrnasti	⊕	<0,4
Nepravilni kvarc**	Kalcedon (“length-fast” kalcedon)		Vlaknast [11 $\bar{2}$ 0]	“Length-fast”	0,5-2
		Kvarcin (“length-slow” kalcedon)	Vlaknast [0001]	“Length-slow”	0,5-1
Moganit			Tabličast (110), lepidosferič.	“Length-slow”	1,5-3
Nepravilni kristobalit	Opal-C	Luzatin	Tabličast (111)***	“Length-fast”	1-3
Kristobalit/tridimit	Opal-CT	Luzatit	Vlaknast [110]***	“Length-slow”	3-8
		Običan masivan opal	Tabličast (110), lepidosferičan	Skoro izotropan	3-10
Ne-kristalna (amorfna silicija)	Opal-AG	Plemeniti opal	Zbijene homometrične sfere	Irizacija, anomalna birefrakcija	4-8
		Običan (neplemeniti) opal	Heterometrične sfere	Izotropan	4-8
	Opal-AN	Hijalit	Bubrežaste skrame i mase	Deformaciona birefrakcija	3-7
	Lešaterilierit	Fulguriti		Vitriфикovane cevčice	Izotropan
Meteorsko silicijsko staklo			Vitriфикovane mase	Izotropan	<0,3

C – kristobalit, T – tridimit, A – amorfan, G – kao gel, N – mrežoliko (staklo)

\* Flörke i dr. (1991)

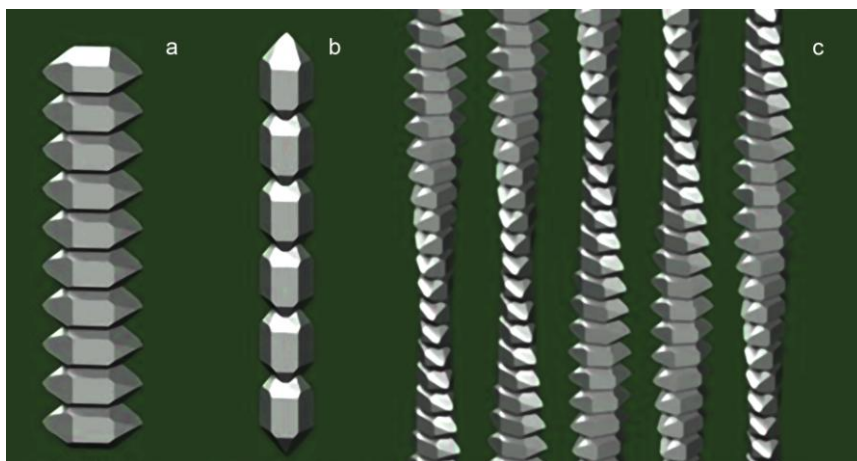
\*\* često sadrži nizak sadržaj moganita

\*\*\* indeksi se odnose na teseralni seting kristobalita

Na osnovu raznovrsnih laboratorijskih ispitivanja uzoraka juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa utvrdili smo sledeće varijetete mikrokristalaste i ne-kristalne silicije: mikrokvarc, kalcedon (“length-fast”), kvarcin (“length-slow” kalcedon) i opal (amorfni i CT). Kao što je već ranije rečeno, mikrokristalasta i ne-kristalna silicija u najvećem procentu izgrađuje juvelirsku mineralnu sirovinu leckog vulkanskog kompleksa. Izuzetak je, zapravo, samo makrokristalni kvarc koji se nalazi u vidu podvarijeteta ametista i, u mnogo manjoj meri, gorskog kristala. Jaspis smo tretirali kao neprovidni podvarijetet kalcedona. Ovakva klasifikacija jaspisa je prihvaćena od većine savremenih autora, a u prilog ovog pristupa išla i činjenica da su jaspisi sa prostora leckog vulkanskog kompleksa, podvrgnuti ispitivanjima indeksa prelamanja svetlosti (refraktometrija), imali vrednosti koje pre svega odgovaraju kalcedonu. Takođe, izmerene vrednosti specifične težine/gustine, kao i pregledi petrografskih preparata uzoraka potvrdili su nalaz refraktometrije.

Kalcedon se, prema novim klasifikacijama, deli na “length-fast” kalcedon, ili obični kalcedon, i na „length-slow“ kalcedon, ili kvarcin. Pored toga, mnogi autori izdvajaju i zrnasti kalcedon, kod koga fibrozna struktura nije izražena. Međutim, ispitivanja korišćenjem skenirajućeg elektronskog mikroskopa, pokazala su da se oba vlaknasta varijeteta sastoje od mikroskopski sitnih, međusobno sraslih kristalnih zrna. Vlaknasta struktura se zapaža pri opservacijama petrografskih preparata kalcedona pod petrografskim mikroskopom. Pod polarizacionom svetlošću (ukrštenim nikolima), uočava se jedinstvena izbrazdana struktura koja umnogome podseća na fibroznu strukturu. Razlog postojanju takve specifične strukture leži u činjenici da su kristalografske ose pojedinačnih kristalnih zrna međusobno grubo paralelne, tako da su ista „naslagana“ na jedinstven način. Kvarc je dvojnoprelamanjući i količina polarizovanog svetla koja prolazi kroz kristal zavisi od njegove orijentacije. Pošto se orijentacija susednih zrna menja manje-više postupno, dolazi do stvaranje talasastog ili cik-cak obrasca (šeme), takozvanog Runzelbänderung-a ili „uvijeno-trakastog“ obrasca.

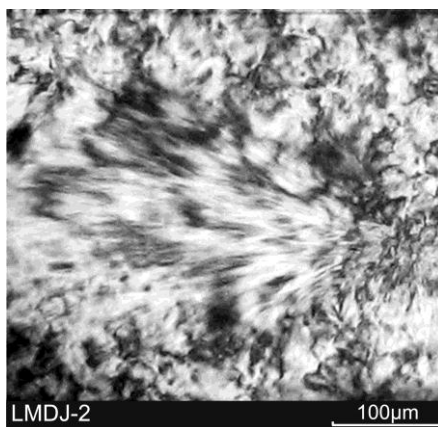
Kod dva različita tipa fiboznog kalcedona („length-fast“ i „length-slow“) razlikuje se način na koji su zrna kvarca naslagana. U običnom kalcedonu, odnosno „length-fast“ kalcedonu, zrna kvarca su naslagana upravno na c-osu, odnosno duž a-ose  $[11\bar{2}0]$  (slika 48a). Kod kvarcina, odnosno „length-slow“ kalcedona, zrna su naslagana duž c-ose  $[0001]$ , pri čemu su a-ose susednih zrna grubo paralelne (slika 48b).



Slika 48. – Načini „pakovanja“ zrna kvarca u običnom „length-fast kalcedonu“ (a), „length-slow“ kalcedonu tj. kvarcinu (b) i pri uvrtnju „vlakana“ „length-fast“ kalcedona (c).

Na slici 48 dat je šematski prikaz načina na koji zrna kvarca izgrađuju običan kalcedon i kvarcin. Moramo jasno naglasiti da je ovakav prikaz idealistički i da ne prikazuje realnu strukturu, budući da su kvarcna zrna intenzivno međusobno srasla i generalno ne izgledaju kao idealno pravilni kristali kvarca.

Kod običnog („length-fast“) kalcedona, c-ose susjednih kristalnih zrna često postepeno rotiraju oko a-ose, što se pod petrografskim mikroskopom uočava kao uvrtnje vlakana (slika 48 i slika 49).

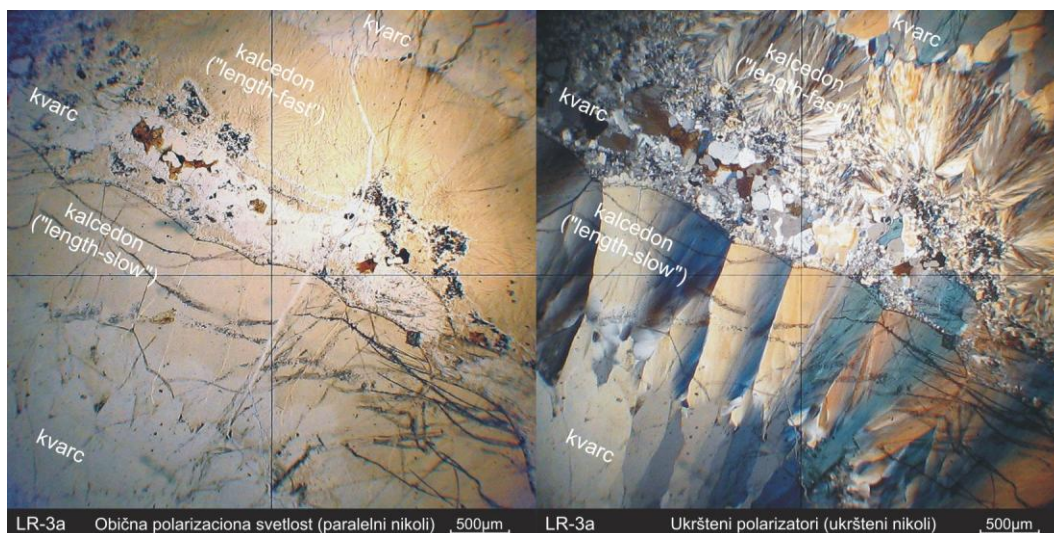


Slika 49. – „Runzelbänderung“ (uvijeno-trakasti obrazac) kod običnog („length-fast“) kalcedona. Mikrograf jaspisa sa nalazišta Male Đake (ukršteni polarizatori).

Običan kalcedon i kvarcin imaju vlaknastu mikrostrukturu. Pod petrografskim mikroskopom relativno ih je lako razlikovati, jer kvarcin ima pozitivan optički karakter elongacije („length-slow“) i ne pokazuje mikrotekturni „uvijeno-trakasti“ obrazac. Razlikovanje je olakšano ukoliko se pod petrografskim mikroskopom, pored polarizovane svetlosti, koristi i  $\lambda$ -kompenzator kada se ova dva mikrotekturna varijeteta kvarca razlikuju po boji.



Na slici 50 prikazana su dva mikrosnimka ametistnog ahata sa Rasovače. U desnom delu slike u kojem je prikazan mikrosnimak uzorka (LR-3a) pod ukrštenom polarizacionom svetlošću uočava se jasna razlika između dve vrste kalcedona – „length-fast“ običnog i „length-slow“ kalcedona, odnosno kvarcina. Ova dva kalcedona se u vidu traka smenjuju sa makrokristalnim kvarcom, čineći vrlo interesantan i atraktivan varijetet juvelirskog kamena – ametistni ahat.

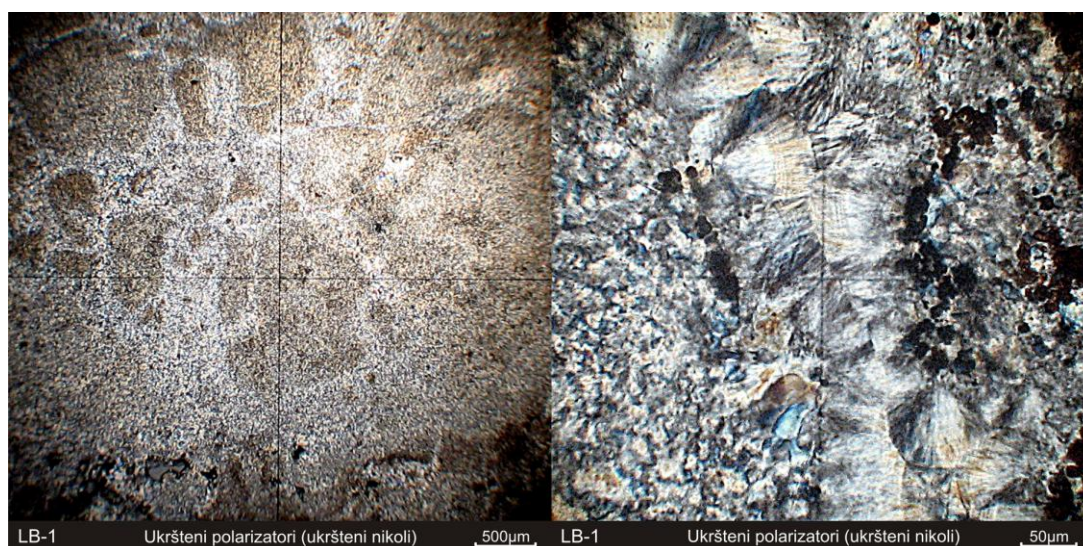


Slika 50. – Smenjivanje makrokristalastog kvarca sa običnim („length-fast“) kalcedonom i kvarcinom („length-slow“ kalcedonom) u uzorku ametistnog ahata sa Rasovače.

Folk i Pittmann su 1971 (iz Zenz, 2011) pretpostavili da pojavljivanje kvarcina ukazuje na njegovo deponovanje u uslovima rastvora koji su bogati sulfatima ili u evaporitskim uslovima, u kojima sulfatni joni onemogućavaju siliciju da polimerizuje u lance što je slučaj kod običnog „length-fast“ kalcedona. Do danas, međutim, nije razjašnjeno koji su to specifični uslovi koji vode ka formiranju kvarcina. Zbog toga, kvarcin ne može biti korišćen kao geohemijski indikator pri tumačenju geneze nalazišta.

Veliki broj uzoraka juvelirske mineralne sirovine tj. juvelirskog kamena sa područja vulkanskog kompleksa Lece spada u grupu jaspisa (Bučumet, Kameno rebro, Vrtače i dr.). Kod tih uzoraka može se govoriti o zrnastom kalcedonu. Kod ovakvog kalcedona pod polarizacionim mikroskopom uočava se nepravilan, sitnozrni obrazac koji je posledica veće proporcije mikrokvarca i nasumične orijentacije kalcedonskih „vlakana“. Ovakvi varijeteti takođe sadrže mnogo veću količinu primesa i znaju biti samo delimično prozirni do opaki. Primer ovakvog zrnastog kalcedona odnosno jaspisa dat je na slici 51, gde se radi se o juvelirskom kamenu – kalcedonu sa ležišta Bučumet.

Pojedini autori, danas već vrlo retko, određuju jaspis kao podvarijetet kvarca. Ipak, dominantno je svrstavanje jaspisa u mikrokristalastu vlaknastu siliciju kao podvarijetet kalcedona što, u najvećoj meri, odgovara i rezultatima naših laboratorijskih ispitivanja. Ponekad u petrografskim preparatima nismo mogli sa sigurnošću utvrditi da li je juvelirski kamen po svim svojim mikroskopskim odlikama, jaspis izgrađen od vrlo sitnih zrna kvarca ili od vlaknastog kalcedona. Međutim, u većini slučajeva indeksi prelamanja svetlosti takvih uzoraka odgovarali su u potpunosti kalcedonu. U retkim slučajevima, indeksi prelamanja svetlosti bili su više vrednosti, koje su odgovarale kvarcu. Jaspis je u tezi uglavnom definisan kao neprozračni do potpuno neprovidni (opak), različito obojen, juvelirski kamen koji po mineralnom sastavu predstavlja smešu dominantnog kalcedona i vrlo sitnozrnog kvarca sa različitom količinom primesa.



Slika 51. – Fotomikrogrami jaspisa (isti petropreparat) sa Bučumeta, koji je izgrađen od vrlo sitnozrne silicije – zrnastog kalcedona. Na levom delu slike, pod manjim uvećanjem je nemoguće sa preciznošću utvrditi o kojoj vrsti silicije se radi. Na desnom delu slike, tek pod velikim uvećanjem, može se uočiti vlaknasti kalcedon.

Otežano određivanje tipa silicije koja izgrađuje pomenutu vrstu jaspisa korišćenjem petrografskog mikroskopa je posledica njene sitnozrnosti. Smatramo da je u najvećem broju slučajeva, posebno kada se radi o silicijskom sinteru, silicija primarno bila deponovana kao amorfna odnosno opalska, da bi kasnije, u procesima diagenese, dolazilo do njene kristalizacije. Međutim, kao što je iz mnogih savremenih istraživanja silicijskog sintera potvrđeno, do kristalizacije takve silicije dolazi vrlo brzo, pa na pojave silicijskog sintera, sa tog stanovišta, u leckom vulkanskom kompleksu treba gledati kao na relativno stare (>20Ma). Na osnovu istraživanja modernih silicijskih sintera (*Herdianita et al, 2000, Lynne et al, 2008 i dr.*) utvrđeno je da početak kristalizacije amorfne silicije nastupa vrlo brzo. Prelaz od

opal-A u opal-C odigrava se posebno brzo u onim silicijskim sinterima koji sadrže druge materijale (npr. kalcite, sumpor, alunite, ostatke biljaka), kada je za prelazak potrebno oko 50-ak godina (*Herdianita i dr.* 2000). Zbog toga je i bilo za očekivati da će u, značajnom procentu, u mineralnom sastavu silicijskog sintera leckog vulkanskog kompleksa odsustvovati amorfna silicija. Laboratorijska ispitivanja su to i potvrdila. U mineralnom sastavu juvelirskog kamena učešće amorfne silicije je minimalno. Pukotine, odnosno slobodni prostori, u sitnozrnijoj silicijskoj masi često bivaju zapunjene jasnije izdiferenciranom silicijom – najčešće vlaknastim kalcedonom i ređe sitnim kristalima kvarca.

U mineralnom sastavu juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa otvoreno pitanje ostaje eventualno prisustvo moganita. Moganit je relativno „nov“ mineral, zapravo polimorf silicije tj. kvarca. Za razliku od kvarca koji kristališe heksagonalno, moganit, istog hemijskog sastava ( $\text{SiO}_2$ ), kristališe monoklinično. Otkriven je 1976. godine od strane geologa predvođenih O. W. Florke-om (*Florke et al*, 1976) koji su se bavili petrološkim proučavanjima blizu lokalnosti Mogan na Kanarskim ostrvima. Pronašli su novi polimorf silicije u šupljinama vulkanskih stena nastalim kao posledica hlađenja magme. Moganit se javlja intimno srastao sa kalcedonom i opalom. Po svojim makroskopskim karakteristikama praktično se ne može razlikovati od kalcedona. Fizička svojstva moganita i rendgenske vrednosti su skoro identične kvarcu, te ga je zato i bilo vrlo teško identifikovati. Moganit je tek 1999 godine priznat od strane Međunarodne mineraloške asocijacije (IMA – No 99-035) kao nov mineral. Novija istraživanja utvrdila su postojanje moganita u vrlo raznovrsnim stenama, npr: abisalnim rožnacima, karbonatnim turbiditima, silicijskim sinterima, u žicama različitih vulkanita (*Götze i dr.*, 1998, *Heaney, Post* 1992, *Rodgers, Cressey*, 2001). Moganit je i čest konstituent u raznim silicijskim sinterima, ahatima – kalcedonima, rožnacima, ali se u njima najčešće javlja u relativno niskim koncentracijama. Takođe, pomenuti mineral predstavlja i metastabilnu fazu silicije, odnosno konačno se transformiše u kvarc (*Herdianita i dr.* 2000). Razlozi zbog kojih, u našim istraživanjima i ispitivanjima juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa, moganit nije utvrđen, mogu biti višestruki. Najpre, u Srbiji se do sada, koliko je autoru poznato, niko nije bavio identifikacijom moganita. Pri rendgenskoj difrakcionoj analizi, koja uz Raman spektroskopiju, predstavlja osnovni laboratorijski metod identifikacije moganita, potrebno je primeniti specifičniju metodiku od one koja se uobičajeno primenjuje. Zbog toga je moguće da je pri našim rentgenskim ispitivanjima izostanak identifikacije moganita, jednostavno, previd. S druge strane, moganit je prelazna, metastabilna, forma silicije koja se

od amorfne faze opala A, zatim opala-CT, pa preko moganita i kalcedona transformiše u kvarc. Budući da je starost juvelirskog kamena miocenska postoji mogućnost da je najveća količina moganita već prekrystalisala u kalcedon i kvarc (Götze i dr., 1998, Herdianita i dr. 2000, Moxon, Reed, 2006). Ovakav slučaj je posebno izražen kod silicijskih sintera, koji predstavljaju veliki deo juvelirskog kamena na prostoru leckog vulkanskog kompleksa. Rogers i Cressey (2001) čak tvrde da moganit u silicijskim sinterima tercijarne starosti u potpunosti odsustvuje ili je ispod granice detekcije.

## 6.1. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA LEŽIŠTA RASOVAČA

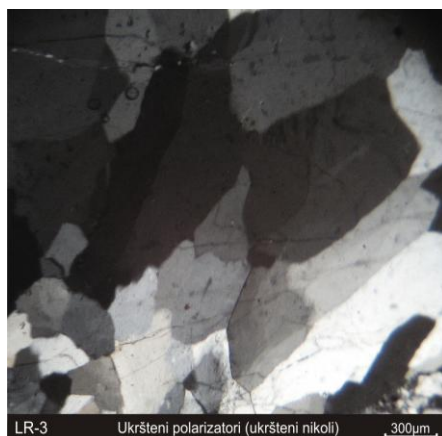
U ležištu Rasovača izdvojeni su sledeći varijeteti juvelirskog kamena: ametist, ametist-ahat, ahat, kvarcna breča i jaspis.

Na juvelirskom kamenu Rasovače vrlo često se jasno može uočiti višefaznost tektonskih procesa i prateće hidrotermalne aktivnosti, odnosno višefaznosti prinosa silicije. U zavisnosti od uslova deponovanja i promena u sastavu hidrotermalnih rastvora, na ovom prostoru je dolazilo je do stvaranja različitih, gore pomenutih, varijeteta juvelirskog kamena silicijskog sastava.

Ametist. Ametist, ljubičasti varijetet makrokristalnog kvarca, predstavlja jednu od faza koja je zapunila prostore nastale usled intermitentne tektonske aktivnosti. Može se naći u vidu druzi sa jasno iskristalisalim mineralnim individuama, što je, bar na osnovu saznanja baziranih na do sada izvršenim istraživanjima, mnogo ređi slučaj. Češće se dešava da ametist u potpunosti zapunjava slobodne prostore u vidu međusobno intenzivno sraslih kristala, predstavljajući vrstu cementa za brečizirane fragmente andezita, piroklastita ili prethodno formiranih silicijskih minerala.

Mineralni sastav ovog juvelirskog kamena jasno je određen. Na osnovu rezultata rentgenske difrakcije dokazano je da je izgrađen od kvarca, a na osnovu rezultata indeksa prelamanja (1,548) i specifične težine (2,53), kao i na osnovu analize petrografskih preparata jasno je da se radi o makrokristalnom kvarcu (slika 52).

*Ametist-ahat* je potencijalno ekonomski veoma značajan trakasti varijetet juvelirske mineralne sirovine leckog vulkanskog kompleksa. U ovom varijetetu kvarca naizmenično se smenjuju trake makrokristalnog kvarca ljubičaste boje – ametista i kalcedona različitih boja, uglavnom plave, bele i crvene. Višestruko i naizmenično smenjivanje traka makrokristalnog kvarca i kalcedona („length fast” i „length slow”) prikazano je na mikrofotografiji petrografskog preparata na slici 50. Formiranje različitih silicijskih minerala kvarca i kalcedona ukazuje na promenu režima hidrotermalnih rastvora a verovatno i stepen koncentracije SiO<sub>2</sub> u rastvoru.



Slika 52. – Mikrofotografija preparata juvelirske mineralne sirovine sa nalazišta Rasovača – kvarc-ametist. Tipičan primer kvarca pod ukrštenim polarizatorima. Kristali kvarca su intenzivno međusobno srasli. Mehurići u gornjem levom uglu slike su nastali u procesu pripreme petropreparata.

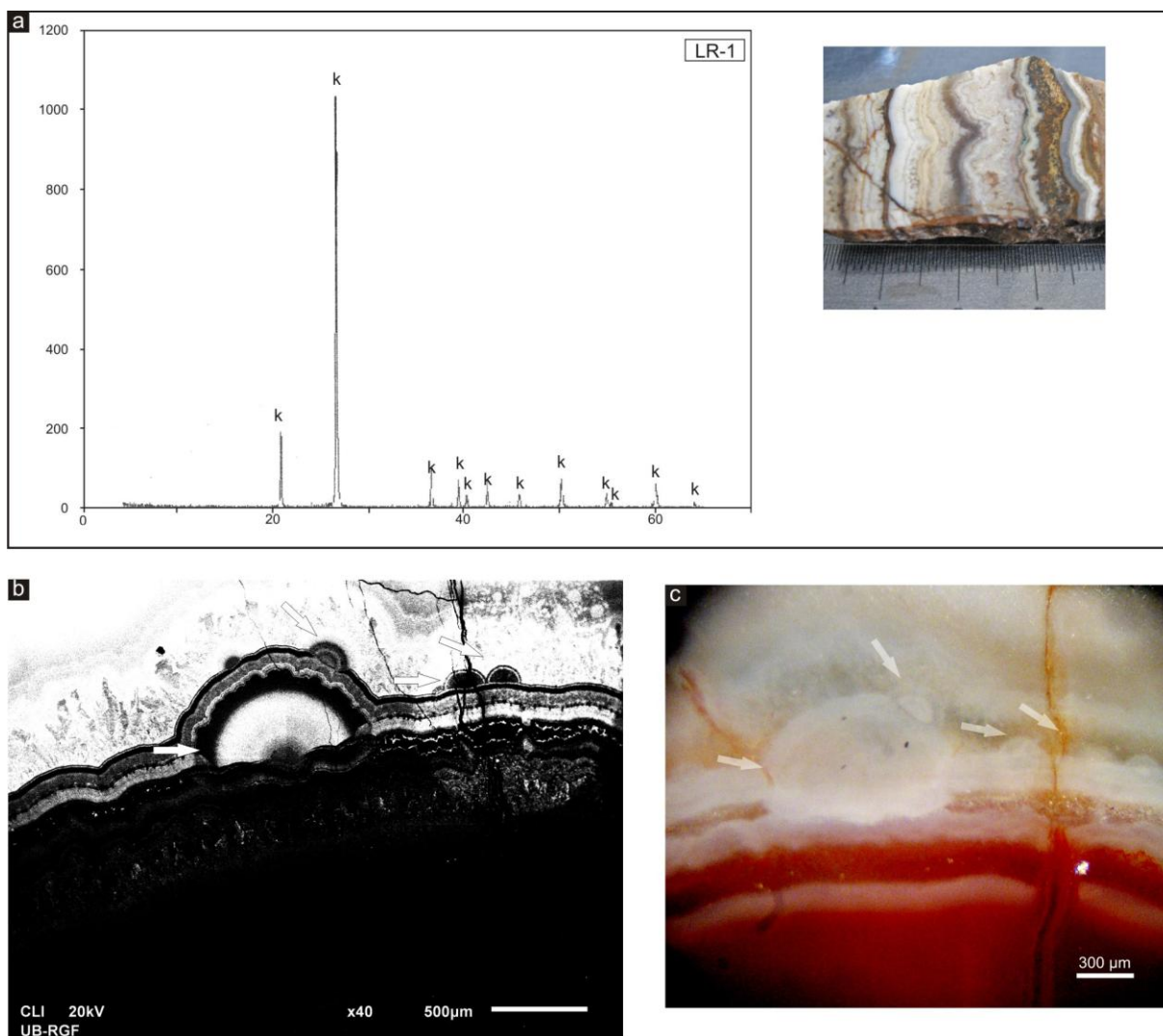
*Kvarcno-kalcedonska breča.* Stvaranje juvelirskog kamena na području Rasovače izvršeno je u razlomnoj zoni, u kojoj je proces brečizacije bio veoma izražen. Intenzivnu, višestruku i dugotrajnu razlomnu tektoniku pratila je višestruka pulsacija hidrotermalnih rastvora. Posledica pomenute hidrotermalne aktivnosti je prisustvo većeg broja rudnih tela metalčnih i nemetalčnih (juvelirskih) mineralnih sirovina. Kao juvelirski kamen interesantne su one breče koje su nastale razaranjem silicijskih minerala koji su nastali u ranijim fazama hidrotermalne aktivnosti (kvarca i kalcedona u vidu podvarijeteta ametista i ahata).

Izdvojena su dva podvarijeteta kvarcno-kalcedonske breče kao potencijalne juvelirske sirovine. Najpre, breča kod koje su fragmenti ranije formiranog ahata cementovani jaspisom (crvene i braon boje) (slika 54e) i, breče u kojima su fragmenti ametista cementovani crvenim jaspisom (slika 54d).

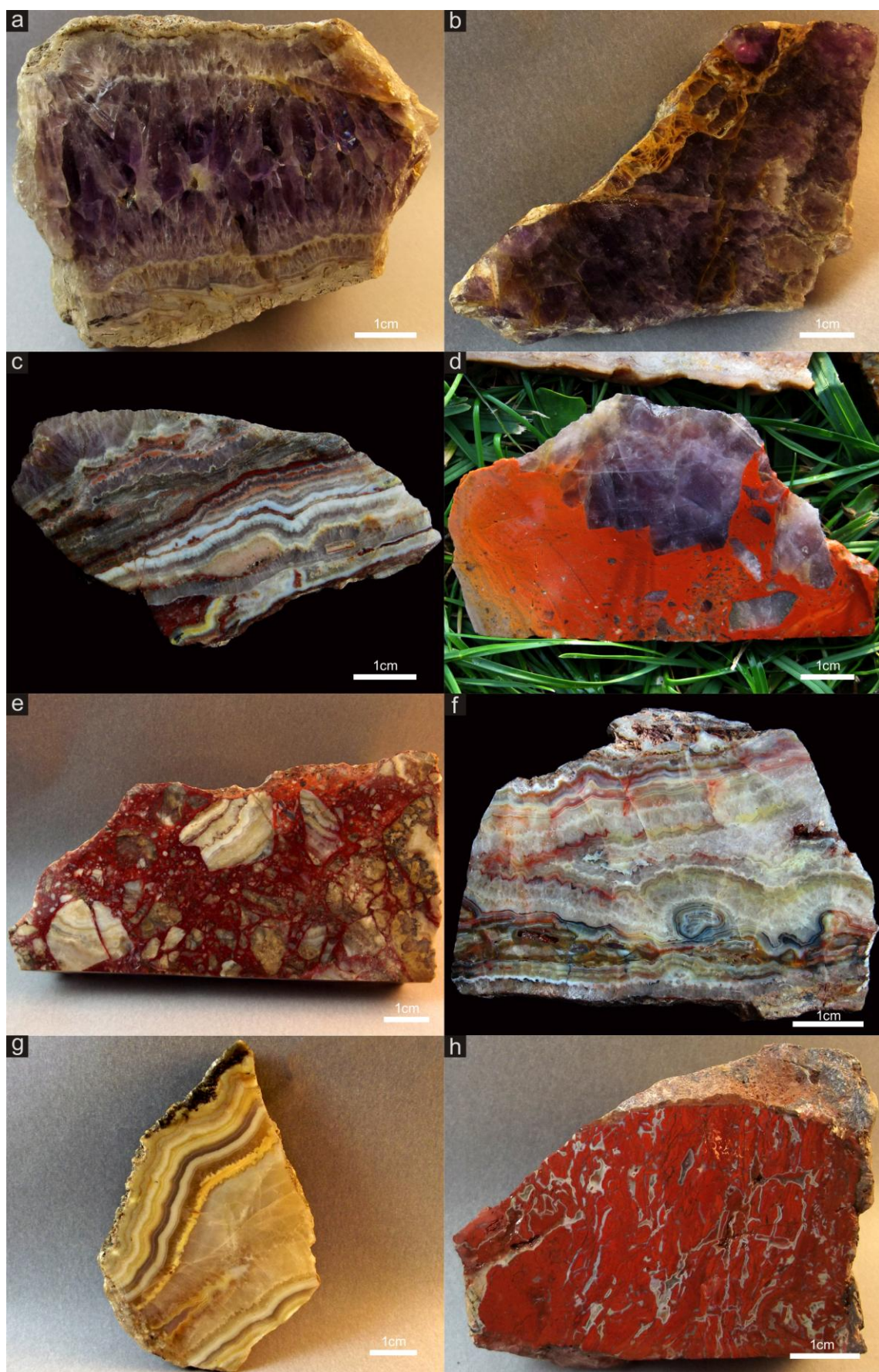
*Ahat.* Ahati (slika 54 f i g) su najčešće varijeteti juvelirskog kamena na Rasovači. Pored kalcedona u njihovom mineralnom sastavu učestvuje i makrokristalni kvarc, koji izgrađuje kako centralne delove ahata, tako i pojedinačne trake. Boje kalcedonskih traka variraju od

bele, žute, plave i crvene do sive. Makrokristalni kvarc je bezbojan, beo i ljubičast (ametist). Svi ahati u nalazištu Rasovača pripadaju grupi žičnih ahata. Prema teksturnim odlikama, osim klasičnih ahata u istoj sredini se nalaze čipkasti ahati.

Jaspis. Jaspis je redak varijetet juvelirskog kamena u ovom ležištu Rasovača. Geološki i potencijalno ekonomski je najznačajniji crveni varijetet. Poznat je i jaspis braon boje koji nije dovoljno atraktivan da bi se mogao samostalno obrađivati, osim u slučaju kada izgrađuje karbonatno-silicijsku breču. Predstavlja jednu od poslednjih faza prinosa silicije.



Slika 53. – Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u ležištu Rasovača. a) reprezentativni rendgenski difraktogram juvelirskog kamena (desno uzorak od kojeg je urađena analiza) – k - kvarc; b) mikrofotografija pod skenirajućim elektronskim mikroskopom (katodoluminisc.) poliranog uzorka ahata; c) mikrofotografija poliranog uzorka ahata u odbijenoj svetlosti pod gemološkim mikroskopom (Mueller MTX-5c). Na slici b i c nalaze se približno iste oblasti uzorka ahata koji je podvrgnut ispitivanjima skenirajućim elektronskim mikroskopom i standardnim gemološkim mikroskopom. Strelice ukazuju na sferulite - odnosno nukleuse radijalno zrakaste kristalzacije vlaknastog kvarca odnosno „legnth-fast“ kalcedona.



Slika 54. Varijeteti juvelirskog kamena ležišta Rasovača: ametist (a i b), ametist-ahat (c), kvarcno-kalcedonska breča (d i e), ahat (f i g), jaspis (h).

## 6.2. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA LEŽIŠTA BUČUMET

Juvelirska mineralna sirovina u ležištu Bučumet je silicijski sinter. Sa praktičnog gemološkog aspekta, u daljem tekstu studije pomenuti varijetet juvelirskog kamena biće tretiran kao jaspis. Nalazištima istog tipa pripadaju i Kameno rebro, Vrtače, Pusto Šilovo, kao i grupa pojava u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa.

Ležište Bučumet i, delom, Vrtače su primarna ležišta juvelirskih sirovina sa očuvanim pločastim silicijskim rudnim telima, dok je Kameno rebro nalazište sekundarnog eluvijalno-deluvijalnog tipa. Kod Vrtača, primarno rudno telo je delom očuvano, a delom se juvelirski kamen nalazi u eluvijalno-deluvijalnom nanosu. U ovu grupu ležišta i pojava treba ubrojiti i nalazište Pusto Šilovo, kao i grupu pojava u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa, jer se u njima nalazi raznorodna juvelirska mineralna sirovina – ne samo silicijski sinter. Budući da je Bučumet primarno i najveće ležište ovog tipa u tvorevinama leckog vulkanskog kompleksa, u prikazu mineralnog sastava njemu će biti poklonjeno najviše pažnje; jer, ono što je svojstvo juvelirskih sirovina u nalazištu Bučumet, u najvećoj meri je i svojstvo silicijskog sintera u drugim ležištima i pojavama vulkanskog kompleksa Lece.

U ležištu Bučumet se nalazi više različito bojenih varijeteta jaspisa (slika 56) čiji broj nije pouzdano utvrđen. Najčešći su jaspisi crvene, braon, žute, bele, svetlo plave i sivo-plave boje. Pretežno jednobojskih varijeteta jaspisa je relativno malo.

Promene boje i teksturnih odlika juvelirskog kamena su česte i uočavaju se na milimetarskim rastojanjima. Jedini uniformno obojeni silicijski sinteri/jaspisi, koji se na ovom stepenu istraženosti mogu izdvojiti, su plave (slika 56a) i znatno ređe crvene boje. Razloge za pomenutu raznoliku obojenost juvelirskog kamena i njihovu teksturnu raznovrsnost treba tražiti u načinu njihovog nastanka. Tokom precipitacije silicije iz toplih vodenih rastvora, temeljnih izvora i gejzera, dolazilo je do promene koncentracije pratećih hemijskih elemenata. Takođe, značajan uticaj na promenu boje mogu imati i mikroske zajednice koje u zavisnosti od udaljenost od dovodnog kanala, temperature i hidrodinamskih i hemijskih uslova pokazuju prostornu zonalnost (Lynne, 2005). Kao osnovne primarne tekture Lynne (2005) izdvaja staklaste i porozno-trošne. Na osnovu



naših istraživanja izdvojili smo trakaste i masivne išarane teksture. Kao karakteristične za silicijske sintere možemo izdvojiti upravo trakaste teksture (slika 56e).

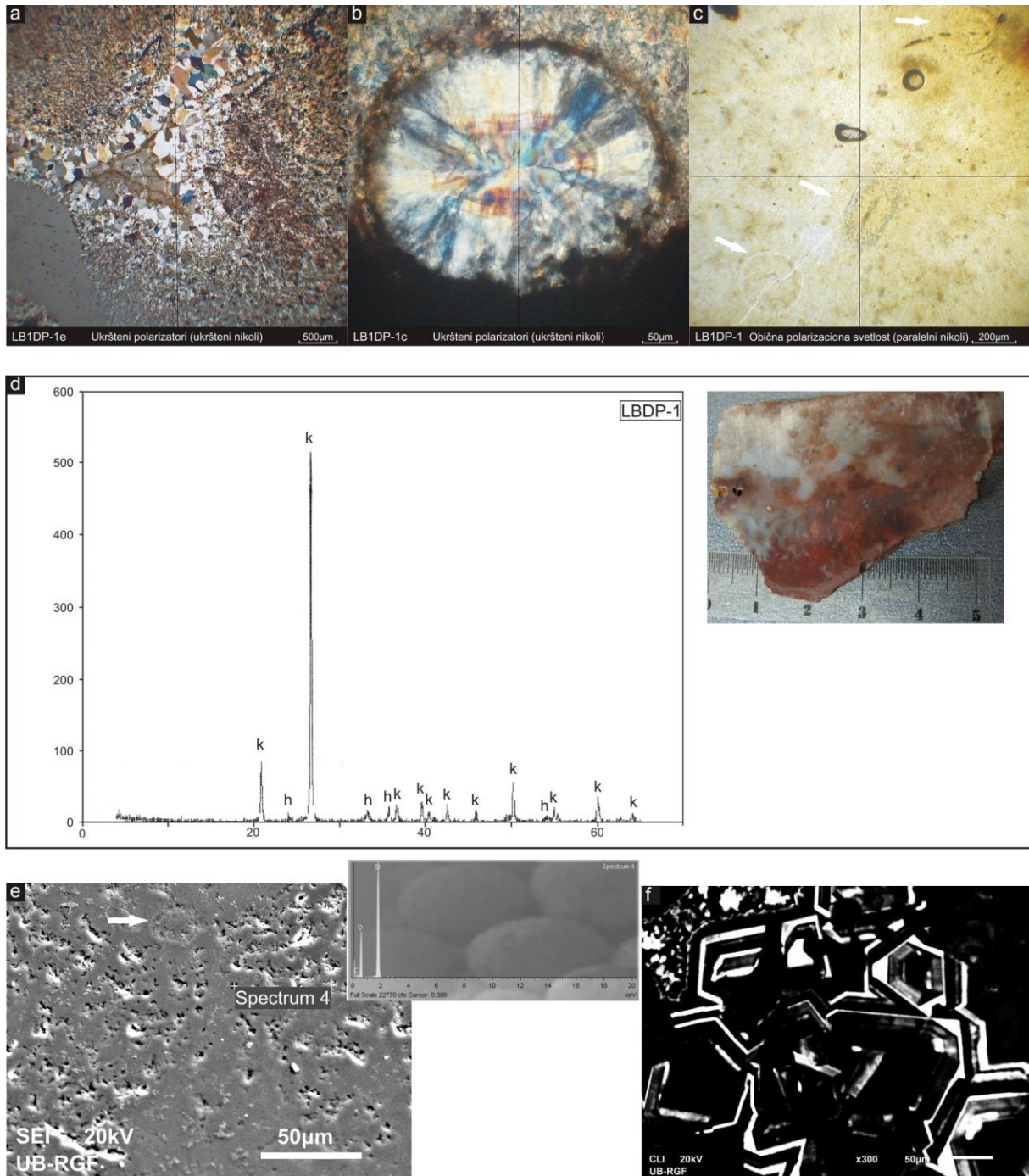
Na osnovu hemijskih istraživanja utvrdili smo i povišen sadržaj gvožđa i mangana. Crvena i braon boja jaspisa potiče od gvožđa, dok je mangan najverovatnije odgovoran za ljubičaste nijanse. Bele partije su sačinjene od relativno čiste silicije, koja je najverovatnije nastala u kasnijim fazama stvaranja i/ili u dijagenetskim procesima.

Raniji istraživači juvelirskog kamena leckog masiva, su ovaj tip sirovine definisali kao opalsko-kalcedonske mase. Istraživanja koja su sprovedena tokom izrade disertacije, međutim, utvrđeno je da opal praktično odsustvuje u mineralnom sastavu ležišta juvelirskog kamena Bučumet, kao i u drugim nalazištima silicijskog sintera na prostoru Leca. Tako nešto se može pretpostaviti već na osnovu same tvrđine juvelirskog kamena Bučumeta, koja se može lako opaziti i prilikom uzorkovanja na terenu. Potreban je znatno veći napor pri dobijanju odlomaka, korišćenjem geološkog čekića, nego što je to slučaj kod opala. Takođe, prilikom sečenja dijamantskom testerom, pri pripremi uzoraka za laboratorijska i tehnološka ispitivanja, primećuje se da se radi o materijalu znatno tvrđem i žilavijem od opala. Osim očigledno veće tvrđine i sva ostala laboratorijska ispitivanja potvrdila su da se radi kalcedonu ili/i o vrlo fino-sitnozrnog kvarcu. Treba, naravno, imati u vidu da se ovde radi o silicijskom sinteru koji je miocenske starosti, a kako je mnogim savremenim istraživanjima utvrđeno, proces dijagenetskih promena u sinteru počinje vrlo brzo (*Herdianita i dr.* 2000, Lynne 2005, Lynne i dr. 2007). U pojedinim je slučajevima potpuni prelazak u kvarc, pod uslovima ubrzane dijageneze, moguć za oko 450 godina (Sinter Island, Novi Zeland - *Lynne 2005*). Originalno je i ovde najverovatnije dolazilo do primarnog deponovanja silicije iz toplih vodenih rastvora u vidu opala-A. Vremenom, prekrivanjem novim litološkim članovima, ali i bez toga, dolazi do dijagenetskih promena amorfne silicije koja uključuje više faza transformacija silicije od amornog opala-A, preko parakristalnih faza opal-CT i opala-C, do mikrokristalnog kvarca, u retkim slučajevima (u šupljinama), i do sitnih kristala makrokristalnog kvarca. Što se tiče parastabilnog moganita koji se javlja kao međufaza između opala-C i kvarca, za očekivati je da je u tercijarnim sinterima odsutan ili ispod granice detekcije (*Rogers et al.*, 2001).

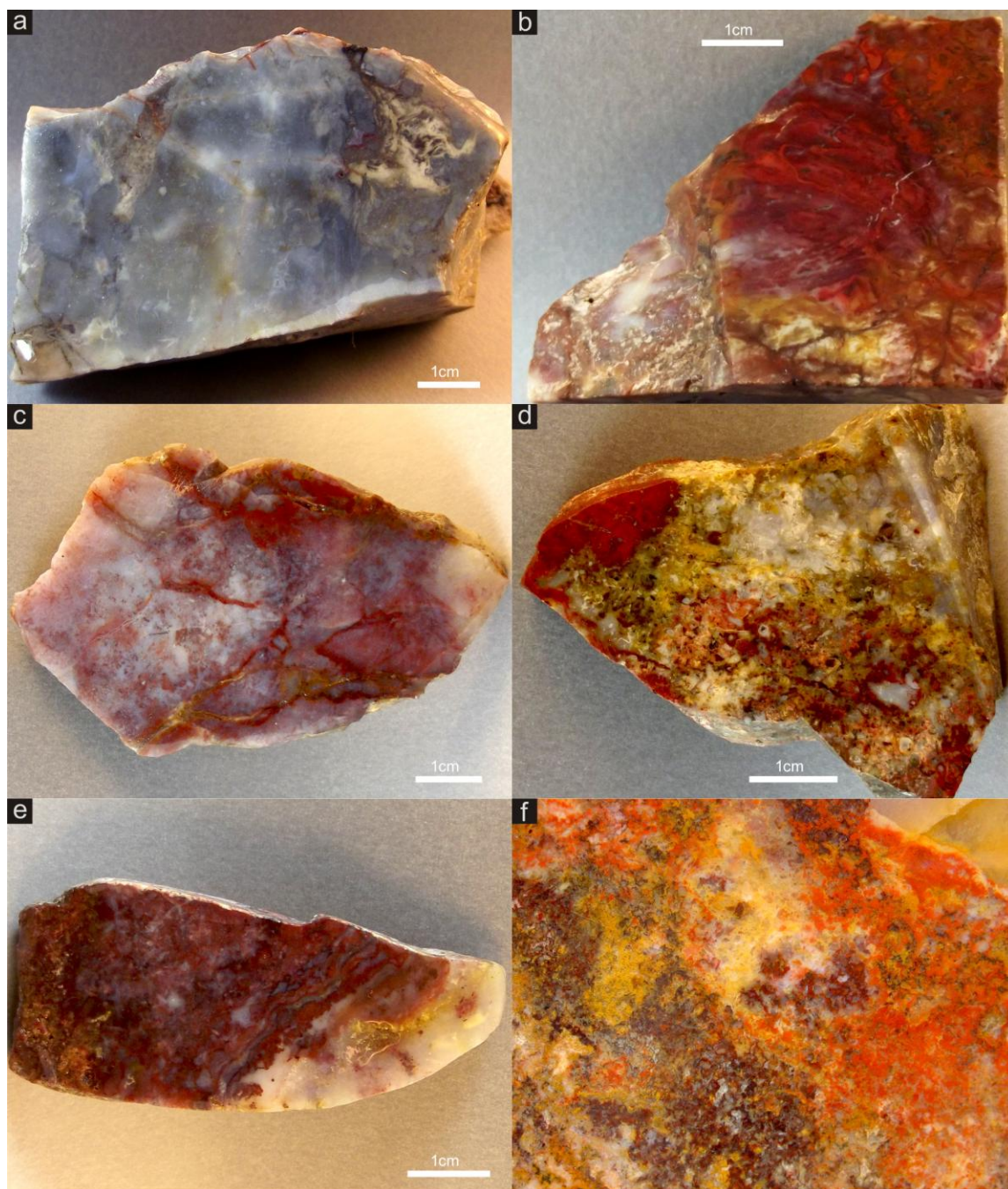
Na osnovu rentgenske difrakcije praha ni u jednom uzorku nije utvrđen opal-CT niti opal-C, već je dominantna silicijska faza – kvarc. Na osnovu analiza pod optičkim mikroskopom, kao i na osnovu ispitivanja indeksa prelamanja svetlosti, mogu se razlikovati kalcedon i mikrokristalasti kvarc.

Indeksi prelamanja svetlosti uzoraka juvelirskog kamena sa Bučumeta kreću se u vrednostima tipičnim za kalcedon i kvarc, s tim što u većem broju merenja vrednosti odgovaraju kalcedonu; kreću se od 1,53 do 1,548. Referentne vrednosti IP (indeksa prelamanja) opala su u opsegu od 1,37-1,47, tako da izmerene vrednosti ni približno ne odgovaraju opalu. Takođe, uzorci silicijskog sintera odlikuju se birefrakcijom, što, naravno, nije slučaj sa izotropnim opalom. Slična situacija je i sa vrednostima specifične težine (gustine) koje se kreću u opsegu od 2,52 do 2,63 sa prosečnom vrednošću oko 2,60. Referentne vrednosti za kalcedon su od 1,58 do 1,64, dok su za opal 1,90-2,30. Nešto niže vrednosti specifične težine (gustine) juvelirskog kamena sa Bučumeta, mogu se objasniti određenim stepenom poroznosti, koji je u slučaju Bučumeta, za silicijske sintere, dosta nizak. Ovo je i za očekivati, budući da se kod silicijskog sintera uočava povećanje gustine i snižavanje poroznosti sa povećanjem stepena maturacije silicijske faze.

Uzorci juvelirskog kamena silicijskog sintera su staklasti do zrnasti. Kao juvelirske mineralne sirovine kvalitetniji su staklasti varijeteti. Prelazi iz zrnastih u staklaste su česti i ispoljeni na vrlo kratkom odstojanju.



Slika 55. – Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u ležištu Bučmet. a) mikrofotografija petropreparata na kojoj se uočava mikrokristalasti kvarc koji je zapunio nekadašnju šupljinu; b) mikrofotografija petropreparata pokazuje šupljinu ovalnog oblika (od zaostalog gasa ili nekadašnje organske materije) ispunjenu vlaknastim kvarcom - „length slow“ kalcedonom; c) mikrofotografija petropreparata pokazuje prisustvo (strelice) fosilnih ostataka u silicijskom sinteru; d) reprezentativni rendgenski difraktogram juvelirskog kamena (desno uzorak od kojeg je urađena analiza) – k - kvarc, h - hematit; e) SEM mikrofotografija (sekundarni elektroni) poliranog uzorka juvelirskog kamena/silicijskog sintera na kojoj se uočava značajna poroznost i prisutnost fosilnih ostataka (strelica gore); f) SEM mikrofotografija (katodoluminisc.) poliranog uzorka juvelirskog kamena na kojoj se uočavaju kristali kvarca.



Slika 56. – Uzorci raznovrsnih varijeteta juvelirskog kamena jaspisa/silicijskog sintera iz ležišta Bučumet.

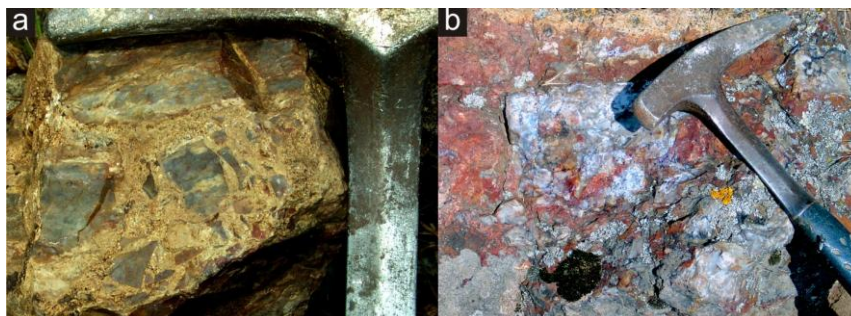
U jednom delu analiziranih uzoraka juvelirskog kamena uočeno je prisustvo nezapunjenih šupljina koje su nastale kao posledica prisustva gasova ili organogene materije koja je inkorporirana u silicijski sinter. Vrlo često su pomenute šupljine u kasnijim fazama hidrotermalne aktivnosti bile zapunjene novom silicijskom fazom. Te šupljine su ispunjene vlaknastim kvarcom (kalcedonom) ili razvijenim kristalima kvarca, a ponekad se javljaju i zajedno (slika 55 a i b).

Budući da se deponovanje silicije, iz termalnih fluida, dešava u različitim sredinama, (padina brda, tokovi termalnih voda, manja jezera oko termalnih izvora...) sasvim očekivano dolazi do inkorporiranja i silifikacije biljaka, polena, insekata, dijatoma, radiolarija i dr. Na slici 55c u petrografskom preparatu uočavaju se ostaci organogenog materijala u Bučumetu. Prisustvo fosilnih ostataka uočava se i u drugim nalazištima, kao što su Vrtače, Pusto Šilovo (petrifikovano drvo) i na prostoru grupe pojava u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa.

### 6.3. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA LEŽIŠTA KAMENO REBRO

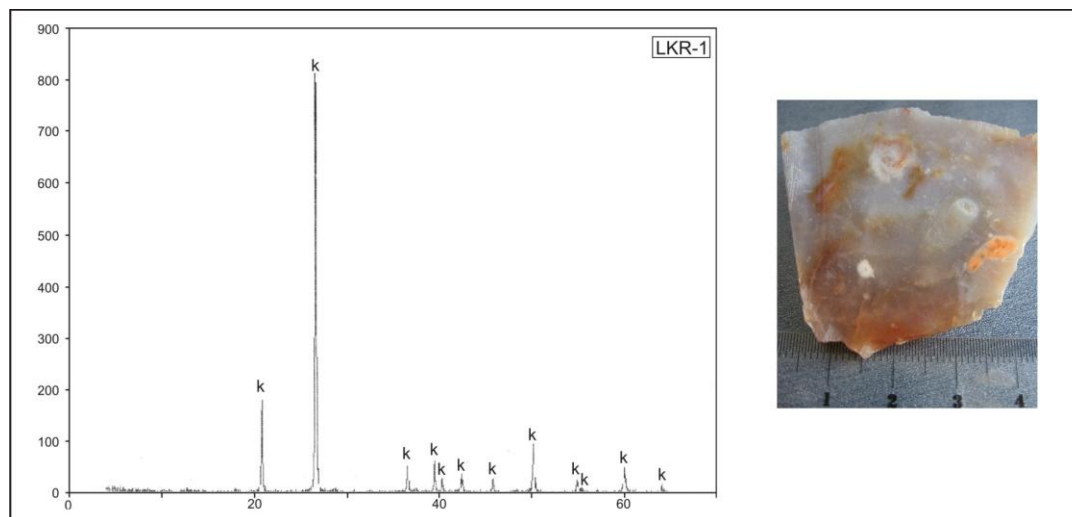
Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine nalazišta Kameno rebro se ni u čemu bitno ne razlikuje u odnosu na mineralni sastav juvelirskog kamena sa ležišta Bučumet. Sve iznete činjenice pri opisu mineralnog sastava silicijskog sintera, na početku poglavlja, kao i u delu o mineralnom sastavu bučumetskog ležišta, poklapaju se sa mineralnim sastavom juvelirskog kamena u nalazištu Kameno rebro. Broj teksturnih varijetata i varijeteta po boji juvelirskog kamena na ovoj lokaciji je izuzetno velik pa ih nije moguće sve prikazati. Na slici 59 dat je samo okvirni, ali ne i sveobuhvatni pregled varijeteta juvelirskog kamena sa ovog ležišta.

Jedna od specifičnosti varijeteta juvelirskog kamena sa lokaliteta Kameno rebro, u odnosu na ležište Bučumet, prema trenutnom stepenu istraženosti, ogleda se u većoj prisutnosti prozračnijih uzoraka. Takvi uzorci su često sivoplave, svetlo-žute i crvenkaste boje. U njima dominira kalcedon u odnosu na mikrokristalasti kvarc, a što je dokazano pregledom petrografskih preparata, kao i preko vrednosti njihovih indeksa prelamanja svetlosti i gustine (specifične težine). Vrednosti indeksa prelamanja na svim uzorcima sa ovog nalazišta (ukupno 6) kreću se u opsegu referentnih vrednosti za kalcedon – 1,530-1,539.

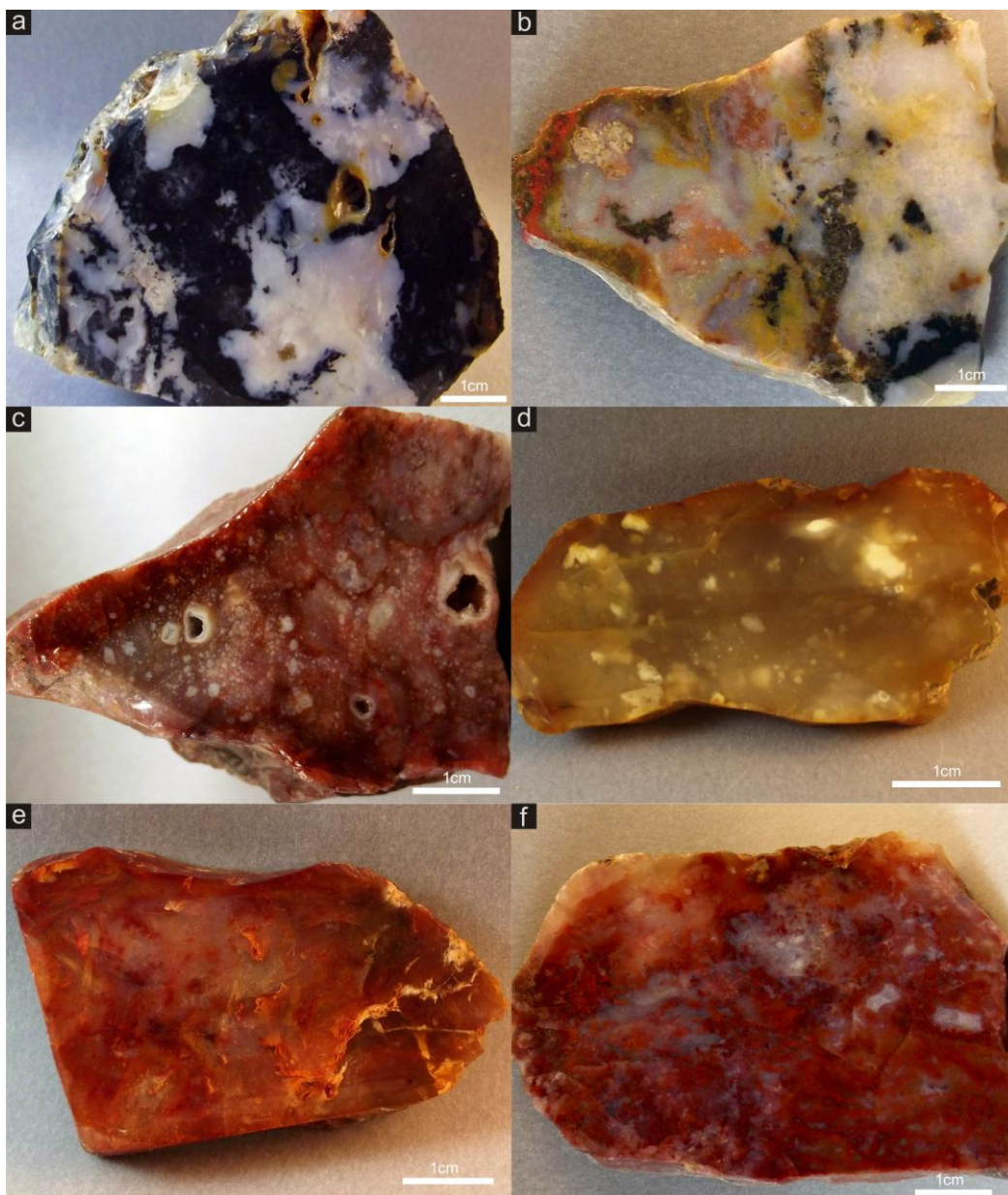


Slika 57. – Primeri procesa brečizacije u nalazištu juvelirskog kamena Kameno rebro (objašnjenje u tekstu).

U mnogim uzorcima se uočava i prisustvo manjih šupljina koje su, najverovatnije, nastale od zarobljenih gasova. Pojedine od njih su nezapunjene (sl. 59a), dok su druge delimično ili potpuno zapunjene silicijskim mineralima. Kod delimično zapunjenih šupljina uglavnom se javljaju vrlo sitni kristali kvarca – sitne geodice gorskog kristala, dok se kod potpuno zapunjenih javljaju kalcedon i kristali kvarca (sl. 59c). Specifičnost u odnosu na Bučumet predstavlja prisutnost brečastog materijala. Cementovani su odlomci juvelirskog kamena silicijskog sintera vrlo oštih i u potpunosti nezaobljenih ivica. Fragmenti su cementovani ili novim prinosom silicije (sl. 57b) ili piroklastičnim tufoznim materijalom (sl. 57a). Prisutnost breča dokazuje da se formiranje silicijskog sintera dešavalo u više faza koje su bile prekidane intenzivnim vulkanskim erupcijama. Te vulkanske erupcije praćene tektonikom razarale su prethodno formirana rudna tela silicijskog sintera.



Slika 58. – Rendgenski difraktogram juvelirskog kamena iz nalazišta Kameno rebro (desno, uzorak od kojeg je urađena analiza) – k - kvarc.



Slika 59. – Uzorci raznovrsnih varijeteta juvelirskog kamena jaspisa/silicijskog sintera iz nalašta Kameno rebro.

## 6.4. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA LEŽIŠTA VRTAČE

Mineralni sastav nalazišta juvelirskog kamena Vrtače ni u čemu značajnom se ne razlikuje od mineralnog sastava Bučumeta i drugih ležišta i pojava silicijskog sintera na prostoru leckog vulkanskog kompleksa.

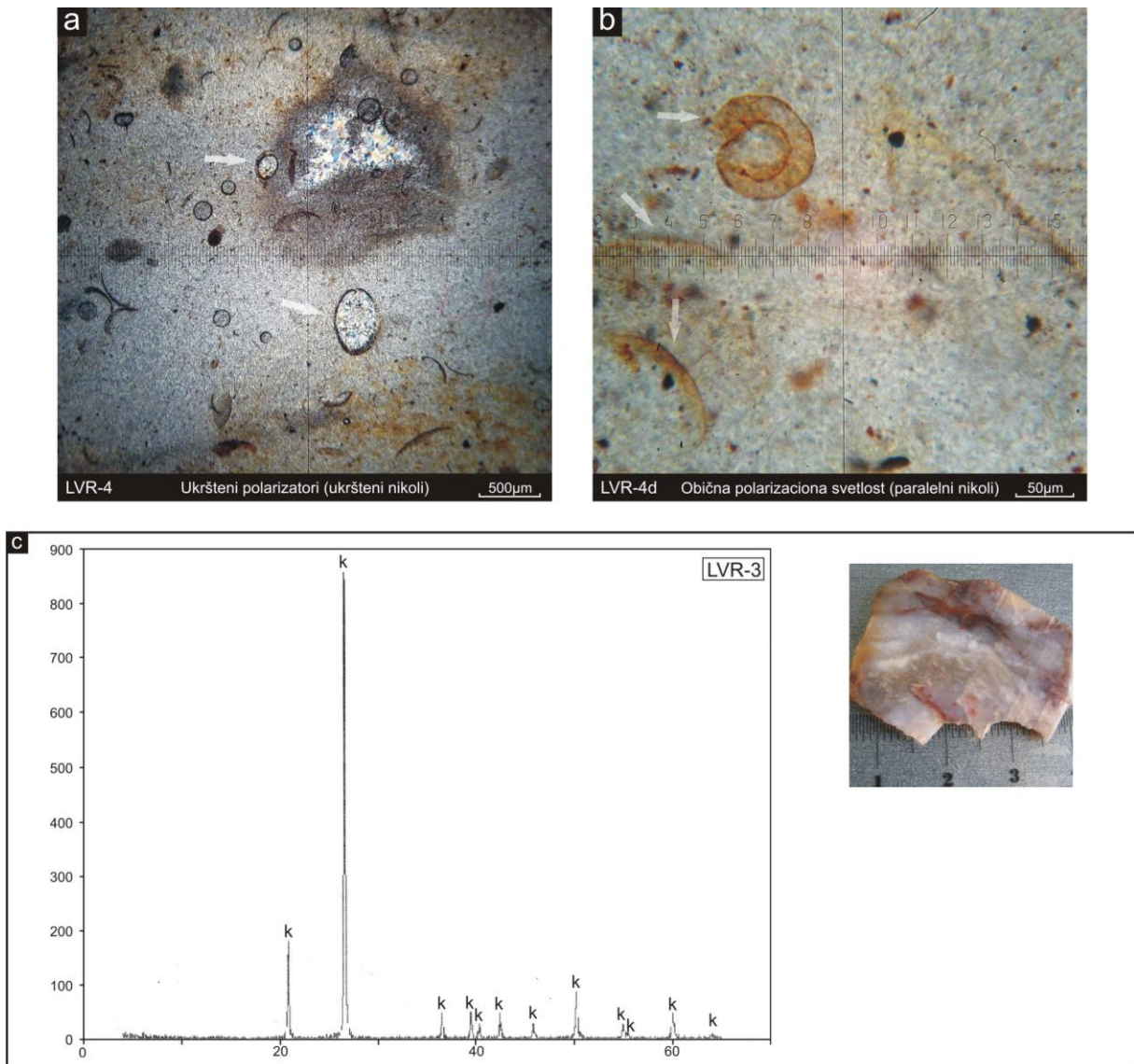
Varijeteti juvelirskog kamena najčešće su predstavljeni jaspisima, ali su značajno zastupljeni i kalcedoni. Među kalcedonima se javljaju i varijeteti koji se po tržišnim komercijalnim podelama svrstavaju u ahate. Primer su mahovinasti ahata (slika 61b) i varijeteti najbliži tzv. „plume agate-u“ odnosno paperjastom ahatu (slika 61-a). Kod kalcedona su u najvećem procentu zastupljeni prozračni, različito obojeni varijeteti različitih teksturnih odlika, koje su najverovatnije proistekle iz načina obrazovanja silicijskog sintera. Primer trakaste teksture, tipične za silicijski sinter, najbolje se vidi kod prikaza varijeteta juvelirskog kamena sa ovog nalazišta na slici 61f.

Osim dominantnih višebojnih kalcedona sa različitim teksturnim odlikama mogu se izdvojiti i pojedini jednobojni varijeteti kalcedona: crveni (karneol), braonkasti (sard) i plavičasti. Takođe, javlja se i vrlo interesantan i redak svetlo ružičasti varijetet, koji je na prelazu između jaspisa i kalcedona. U multikolornim kalcedonima, kao i u jaspisima, mogu se uočiti i sitne partije tipičnih, koncentrično trakastih ahata (slika 61e). Najčešće su plavičaste i bele boje. Ovi ahata se nalaze u nekadašnjim šupljinama i pukotinama (u jaspisima i kalcedonima) i mogu nastajati na račun kasnijih hidrotermalnih rastvora, novih prinosa silicijskih sintera ili su deponovani iz silicijom bogatih rastvora koji su nastali u procesima površinskog raspadanja stena, slično nastajanju ahata u sedimentnim uslovima (Götze u Zenz, 2011).

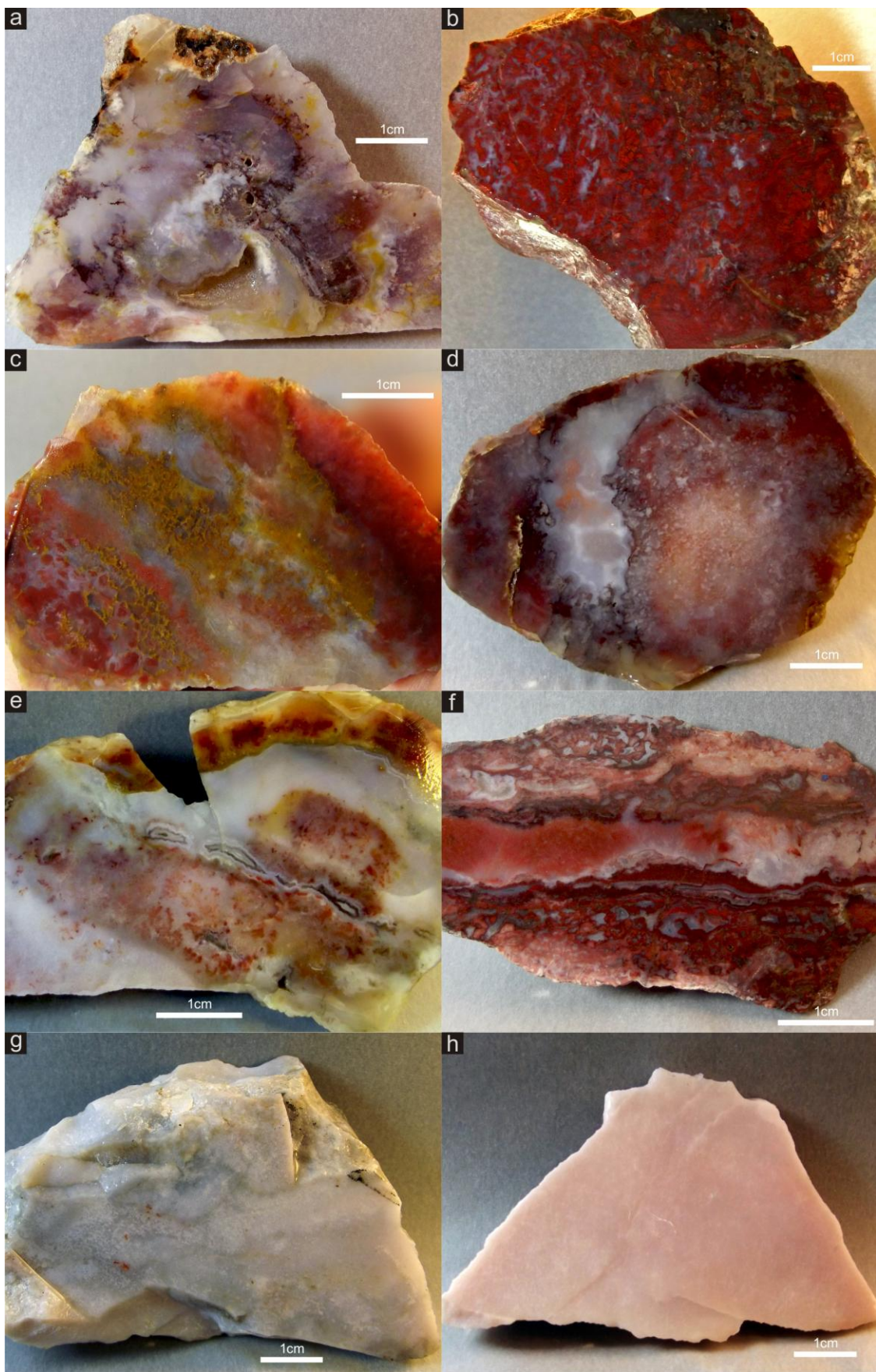
Varijeteti jaspisa sa ležišta Vrtače, po svojim makroskopskim karakteristikama, slični su varijetetima kalcedona. Osnovna i zapravo jedina razlika između njih je u prozračnosti. Jaspisi su dominantno neprovidni, osim u manjim partijama ili u tanjim odsecima. U pogledu mineralnog sastava nema značajnijih razlika. Jaspis je izgrađen od fino-zrnog ekvigranularnog kalcedona/kvaca. Srednja vrednost indeksa prelamanja svetlosti uzoraka juvelirskog kamena Vrtača (jaspisa i kalcedona) je 1,537, pri čemu je najniža izmerena vrednost bila 1,529 a najviša 1,545. Na osnovu ovih vrednosti možemo zaključiti da



juvelirski kamen Vrtača najvećim delom izgrađuje kalcedon. Više vrednosti izmerenih IP (indeksa prelamanja) prelaze granicu kalcedona i dostižu vrednosti dobro iskristalisalog kvarca. Vrlo je teško povući oštru granicu između jaspisa i kalcedona u ovom nalazištu, budući da se u istom uzorku obrađenog juvelirskog kamena mogu naći prozirne i neprozirne partije. U takvim slučajevima govorimo o prelaznom varijetetu juvelirskog kamena – jaspikalcedonu odnosno komercijalnijem terminu jaspahatu (Schumann, 2011).



Slika 60. – Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u nalazištu Vrtače. a i b) mikrofotografije petropreparata na kojoj se uočavaju fosilizovani ostaci organske materije (strelice); a) fosilni ostaci i nekašnje šupljine ispunjene su krupnozrnijim kvarcom; c) reprezentativni rendgenski difraktogram juvelirskog kamena (desno uzorak od kojeg je urađena analiza) – k - kvarc;



Slika 61. – Uzorci raznovrsnih varijeteta juvelirskog kamena jaspisa/silicijskog sintera iz nalašta Vrtače. a) multikolorni kalcedon - „paperjasti ahat“, b) crveni mahovinasti „ahat“, c) jaspis, d), jaspkalcedon e) jaspahat, f) trakasti jaspis, g) plavičasti jaspkalcedon, h) svetloružičasti jaspkalcedon.

Pregledom petrografskih preparata uzoraka juvelirskog kamena sa Vrtača utvrđeno je prisustvo različitih sitnih fosilizovanih organskih ostataka. Ovi fosilni ostaci su (prema trenutnom stepenu proučenosti i straženosti) od svih nalazišta silicijskog sintera najzastupljeniji upravo u nalazištu Vrtače (slika 60 a i b).

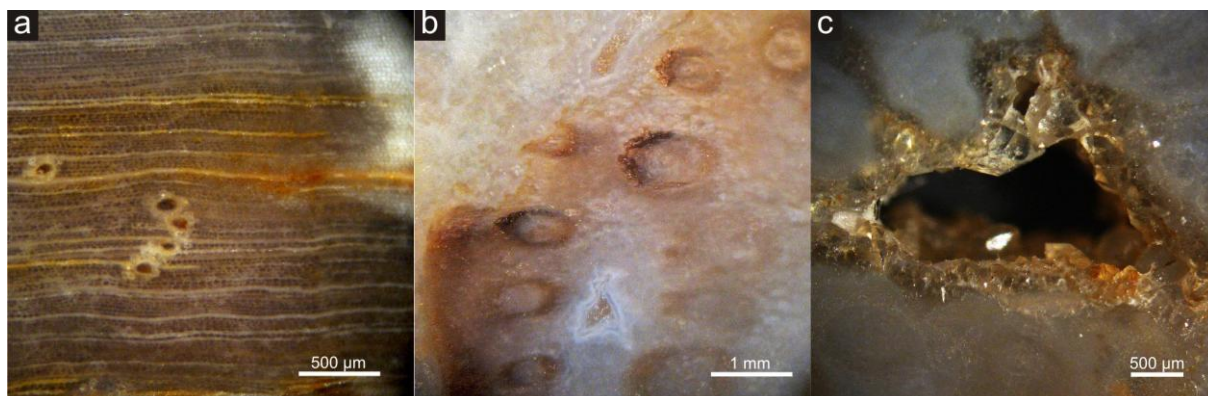
## 6.5. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA PUSTO ŠILOVO

Prema trenutnom, vrlo niskom stepenu istraženosti, nalazište Pusto Šilovo predstavlja pojavu juvelirskih mineralnih sirovina tipa mehaničkih sedimenata. Sudeći prema utvrđenim osnovnim geološkim karakteristikama mehaničkog nanosa, on pripada mešovitom aluvijalno-proluvijalno-deluvijalnom tipu. Materijal je prinet sa šireg područja terena, što se može zaključiti na osnovu prisutnosti raznovrsnih varijeteta juvelirskog kamena. U najvećoj meri su zastupljeni odlomci silicijskog sintera (jaspisi i kalcedoni) kakvih ima i u nalazištima Bučumet, Kameno rebro i Vrtače. Pored silicijskog sintera uočeni su i ahat, ametist-ahat i jaspis koji najverovatnije potiču iz žičnih hidrotermalnih ležišta.

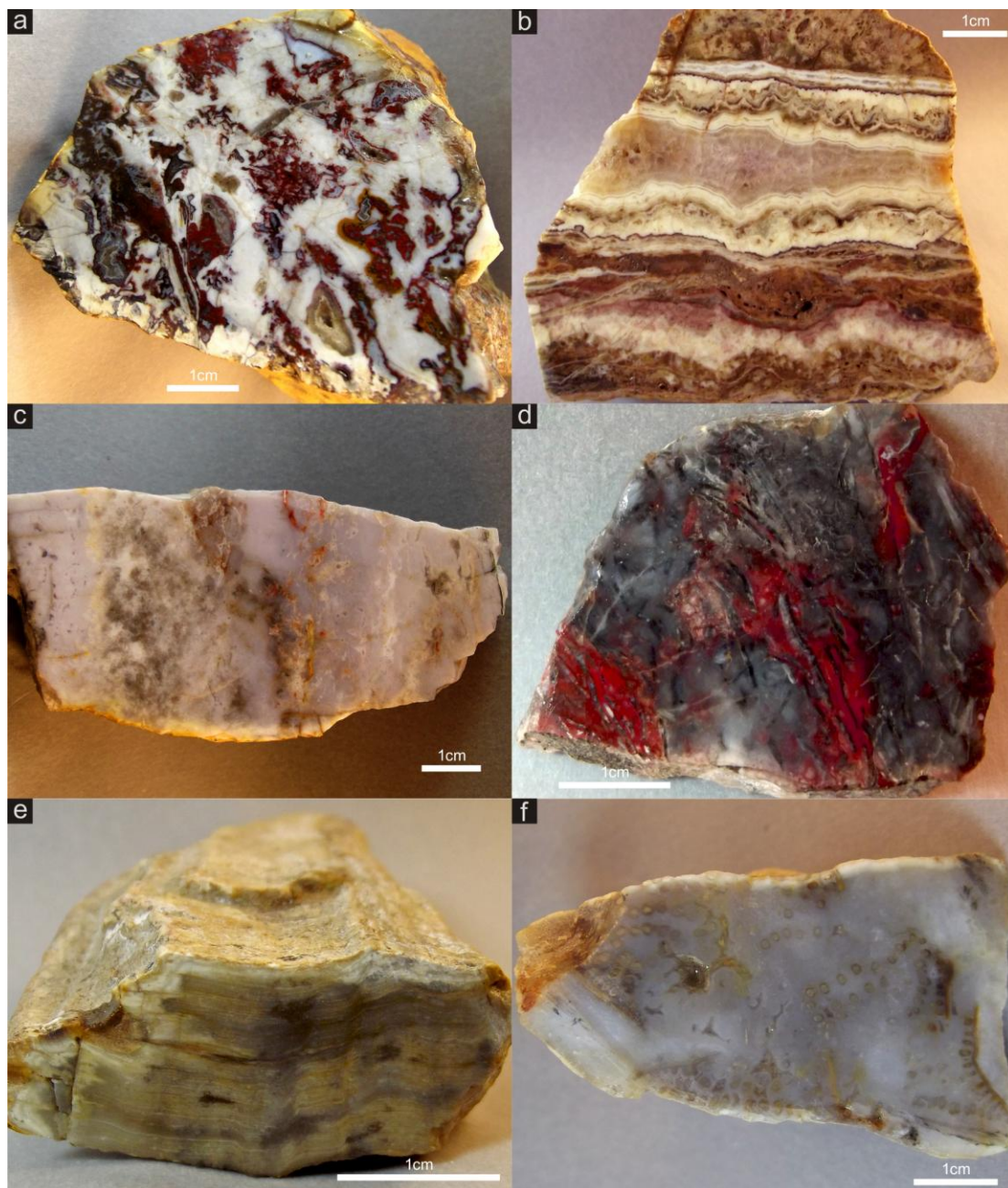
Mineralni sastav nalazišta Pusto Šilovo odlikava mineralni sastav primarnih ležišta juvelirskog kamena Bučumet i Rasovača. Specifičnost nalazišta je prisusvo petrifikovanog, silifikovanog drveta što se može objasniti povoljnim uslovima za njegovo stvaranje tokom formiranja silicijskog sintera. U pomenutim uslovima drvo biva zarobljeno u silicijskom sinteru i prožeto silicijom. Potvrdu prethodno iznete teze predstavlja činjenica da je proces silifikacije drveta dokazan i eksperimentalno u termalnom izvoru aktivne vulkanske oblasti Tateyama (andezitsko-dacitskog sastava) u centralnom Japanu (*Akaban et. al.* 2004.). U cilju izučavanja procesa silifikacije, autori su fragmente svežeg drveta ostavili u vodenom toku termalnog izvora (70°C) bogatog silicijom (323,2–378 mg/l) a, zatim, nakon perioda od sedam godina utvrdili da su isti silifikovani u iznosu od skoro 40 tež.% usled deponovanja amorfne silicije. Rezultati eksperimentalnih istraživanja dokazali su da u u vrlo kratkom

vremenskom periodu – od nekoliko desetina do stotina godina, u pomenutim uslovima može doći do kompletne silifikacije drveta opalskom silicijom .

Komadi silifikovanog drveta u nalazištu Pusto Šilovo u potpunosti su zadržali originalnu strukturu drveta, pri čemu je sva organska materija zamenjena silicijskim mineralima – kalcedonom i kvarcom. Na slici 62a, prikazan je komad drveta, koji nakon silifikacije nije bio izložen naknadnim promenama, dok je na slici 62b primerak silifikovanog drveta kod koga se uočava dejstvo mikrotektonike (slika 63f) i moguć prinos nove količine silicije. U istom komadu silifikovanog drveta se u šupljinama nalaze sitne družice pravilnih kristala kvarca, veličine do 500-600  $\mu\text{m}$  (slika 62c). Indeksi prelamanja oba uzorka odgovaraju kalcedonu, dok im je specifična težina (gustina) nešto niža od referentnih vrednosti za kalcedon, što je, verovatno, posledica šupljikave drvenaste strukture. Uzorak silifikovanog drveta sačuvane drvenaste strukture, ima vrednost specifične težine 2,52, dok je kod drugog uzorka ona nešto viša – 2,60. Niža vrednost kod prvog uzorka verovatno predstavlja posledicu bolje očuvane drvenaste građe.



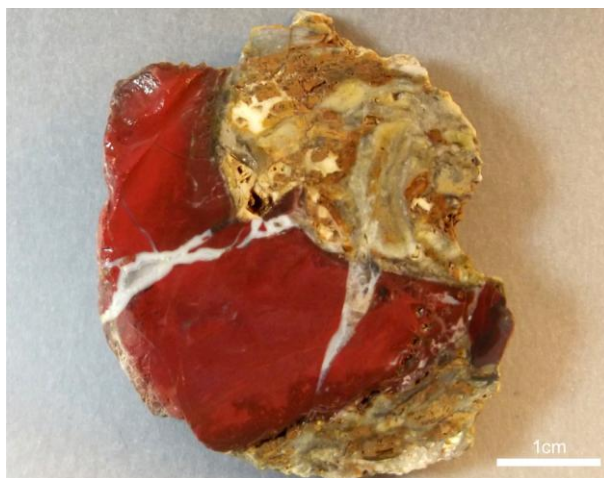
Slika 62. – Mikrofotografije silifikovanog drveta pod gemološkim mikroskopom (Mueller MTX-5c). a) u potpunosti sačuvana struktura drveta bez naknadnih poremećaja, b) nešto niži stepen očuvanosti originalne drvenaste strukture kao posledica procesa nastali nakon izvršene petrifikacije; c) šupljina u uzorku silifikovanog drveta (b) ispunjena sitnim pravilnim mikrokristalima kvarca (gorskog kristala).



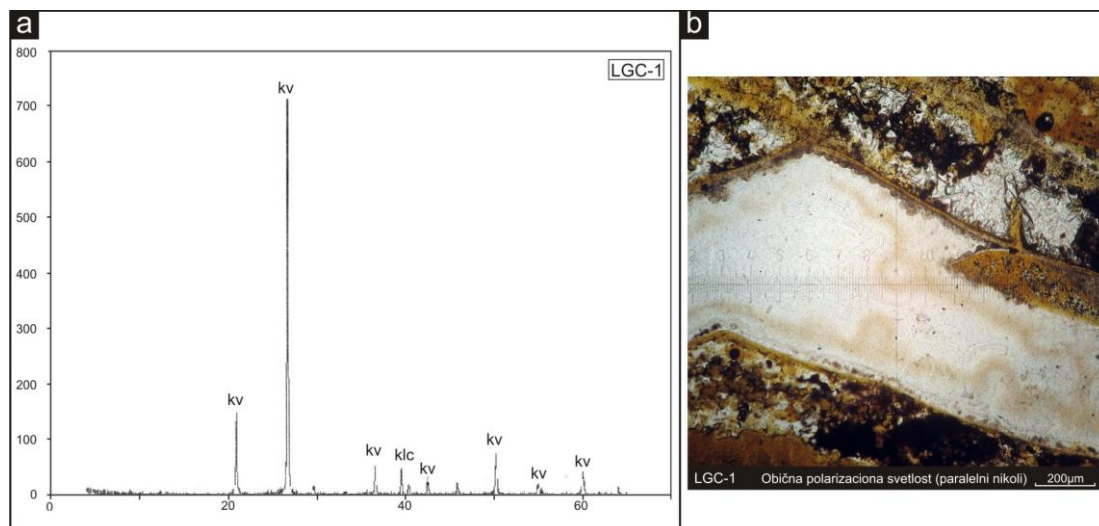
Slika 63. – Uzorci raznovrsnih varijeteta juvelirskog kamena iz nalašta Pusto Šilovo. a) šareni jaspis sa šupljinama zapunjenim ahatom i kvarcom, b) ametist-ahat, c) plavičasti jaspis, d), šareni jaspis e) primerak silifikovanog drveta sa potpuno očuvanom drvenastom strukturom, f) primerak silifikovanog drveta kod koga se uočava dejstvo mikrotektonike.

## 6.6. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA GAJTAN-CRVODIK

U nalazištu Gajtan-Crvodik izdvojen je jedan varijetet juvelirskog kamena – crveni jaspis (slika 64). Crveni jaspis mestimično presecaju tanke žilice kalcedona (ahata), bele i plavičaste boje. Kalcedonske žilice su nastale nakon stvaranja jaspisa, kao posledica tektonske aktivnosti i potonjeg prinosa silicije hidrotermalnim rastvorima. Crvena boja jaspisa može se povezati sa povišenim sadržajem gvožđa, utvrđenog ICP metodom (oko 1,5%). Osim dominantnog kvarca (mikrokvarc i kalcedon), rendgenskom difrakcionom analizom u istom mineralu utvrđeno je i prisustvo hidrotermalnog kalcita (slika 65a). Prisutne ahatne/kalcedonske žilice ne utiču negativno jaspis kao juvelirsku sirovinu već povećavaju njegovu atraktivnost. Jaspis iz ovog nalazišta ima dva podvarijeteta – jedobojni crveni jaspis i crveni jaspis sa ahatnim žilicama.



Slika 64. – Crveni jaspis sa žilicama ahata u alterisanom andezitu. Materijal dobijen obradom ovog uzorka je iskorišćen za petrografsku i rendgensku difrakcionu analizu.



Slika 65. Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u nalazištu Gajtan-Crvodik. a) reprezentativni rendgenski difraktogram crvenog jaspisa – kv - kvarc, klc - kalcit; mikrofotografije petropreparata crvenog jaspisa – ahatna žilica u centralnom delu.

## 6.7. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA U ISTOČNOM OBODNOM DELU LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

U brojnim nalazištima juvelirskih mineralnih sirovina tipa mehaničkih sedimenata koja se nalaze u istočnom obodnom delu leckog vulkanskog kompleksa (IODLVK), dominantnu mineralnu komponentu čini juvelirski kamen tipa silicijskog sintera. Njegov mineralni sastav je identičan mineralnom sastavu silicijskog sintera iz nalazišta Bučumet, Vrtače i Kameno rebro, odnosno čine ih kalcedon i mikrokristalasti kvarc. Poznati su, takođe, i podvarijeteti jaspisa i kalcedona slični onima u prethodno pomenutim nalazištima. Varijeteti juvelirskog kamena koji se javljaju u hidrotermalnim žičnim ležištima na području leckog vulkanskog kompleksa (ahat i ametist), nisu prisutni. Uočeno je i prisustvo fosilnih ostataka (slika 66 b i d).

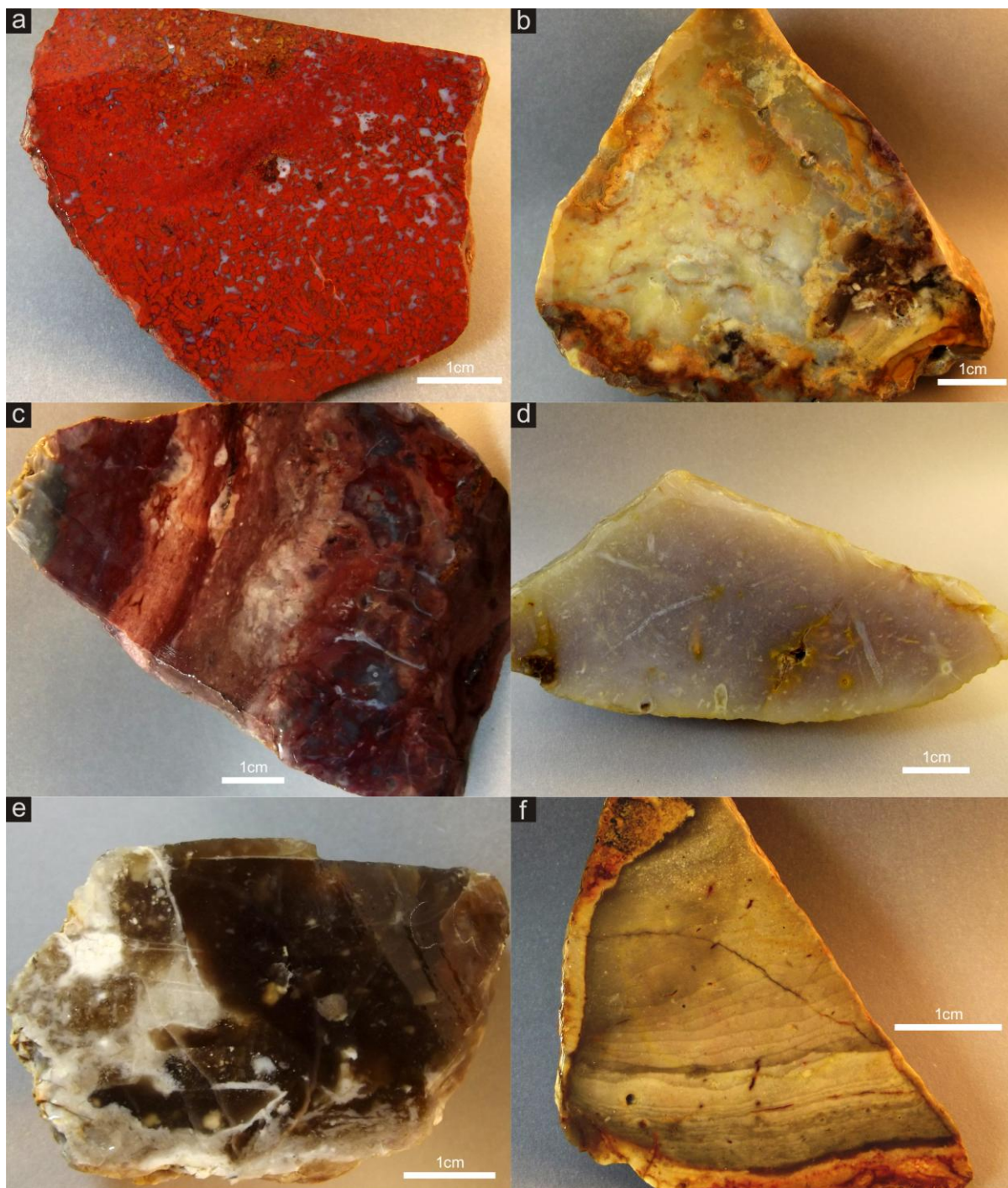
U tabeli 5 dat je uporedni prikaz sadržaja elemenata u tragovima, i pojedinih makro elemenata (ICP-MS analiza) u uzorcima juvelirskog kamena iz nalazišta silicijskog sintera i u uzorcima juvelirskog kamena iz nalazišta u obodnom delu vulkanskog kompleksa.

Analizom tabele dolazi se do zaključka o korelacionim odnosima sadržaja elemenata u tragovima i makro elementa u analiziranim uzorcima, a što je posebno izraženo kod olova. Prethodno govori u prilog pretpostavci da su nalazišta mehaničkih sedimenata nastala razaranjem primarnih ležišta silicijskog sintera.

Tabela 5. – Upoređenje sadržaja elemenata u tragovima juvelirskom kamenu nalazištima silicijskog sintera (Bučumet, Vrtače, Kam. rebro) i juvelirskog kamena iz nanosnih pojava u istočnom obodnom delu leckog vulkanskog kompleksa (poslednje dve zasenčene kolone – IODLVK).

		LB361-2	LB1DP-1	LB-1	LVR-3	LVR-4	LKR-1	LKR-2	LC-1	LC-2
		Bučumet	Bučumet	Bučumet	Vrtače	Vrtače	Kam. rebro	Kam. rebro	IODLVK	IODLVK
<b>Ag</b>	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<b>Al</b>	g/kg	0,701	0,953	1,431	0,317	0,619	0,212	0,203	0,324	0,256
<b>As</b>	mg/kg	18,730	100,635	29,250	62,254	99,091	38,856	35,988	26,931	9,303
<b>Ba</b>	mg/kg	4,437	5,670	<0,005	8,838	2,652	<0,005	2,994	1,658	0,706
<b>Bi</b>	mg/kg	<0,5	16,558	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
<b>Ca</b>	g/kg	<0,005	<0,005	2,943	0,250	0,273	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
<b>Cd</b>	mg/kg	2,376	4,504	2,781	4,146	4,520	3,117	3,039	1,807	1,458
<b>Ce</b>	mg/kg	0,306	2,720	1,683	0,153	0,813	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
<b>Co</b>	mg/kg	61,592	81,437	<0,5	115,082	64,523	43,939	37,782	98,796	85,560
<b>Cr</b>	mg/kg	4,387	58,403	33,471	4,146	7,872	0,450	<0,05	5,412	5,532
<b>Cu</b>	mg/kg	14,806	6,329	32,016	31,976	2,121	6,494	3,920	4,664	1,511
<b>Fe</b>	g/kg	2,646	33,660	6,767	0,666	3,929	0,972	0,783	0,672	0,428
<b>Gd</b>	mg/kg	2,130	9,383	2,679	1,568	2,173	1,723	1,428	<0,5	<0,5
<b>Hg</b>	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<b>Ho</b>	mg/kg	0,641	5,524	1,205	<0,05	0,452	<0,05	0,208	<0,05	<0,05
<b>K</b>	g/kg	0,140	0,142	0,058	0,063	0,100	0,512	0,097	0,066	0,036
<b>La</b>	mg/kg	0,668	<0,05	0,568	<0,05	0,340	2,494	0,122	<0,05	<0,05
<b>Li</b>	mg/kg	11,350	11,548	9,876	9,211	23,302	2,053	1,038	0,273	1,114
<b>Lu</b>	mg/kg	0,882	2,429	0,365	1,581	1,155	0,687	0,736	1,372	1,265
<b>Mg</b>	g/kg	<0,005	<0,005	<0,005	0,012	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
<b>Mn</b>	mg/kg	1,528,398	255,220	144,550	61,283	45,032	11,266,246	7,402	15,553	27,002
<b>Na</b>	g/kg	<0,05	<0,05	<0,05	0,037	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<b>Ni</b>	mg/kg	14,032	15,940	17,078	25,142	13,759	9,858	7,478	16,905	12,257
<b>Pb</b>	mg/kg	224,246	211,153	235,792	287,728	234,858	207,785	236,769	238,523	226,261
<b>Pr</b>	mg/kg	<0,5	<0,5	0,128	0,378	<0,5	<0,5	0,166	0,719	<0,5
<b>Rb</b>	mg/kg	3,362	4,777	3,312	2,960	4,046	5,435	3,663	3,422	3,622
<b>Sc</b>	mg/kg	0,179	0,445	0,066	0,335	0,276	0,180	0,081	0,305	0,295
<b>Se</b>	mg/kg	7,336	4,578	2,468	12,309	8,287	13,536	7,216	7,721	7,368
<b>Sr</b>	mg/kg	6,564	5,332	13,401	2,175	7,687	11,399	1,412	<0,005	<0,005
<b>Ti</b>	g/kg	<0,05	<0,05	0,053	0,004	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<b>V</b>	mg/kg	103,048	143,710	13,505	4,558	10,180	12,173	16,951	1,251	11,224
<b>Y</b>	mg/kg	4,307	2,037	1,350	0,146	0,305	1,252	0,132	0,333	0,236
<b>Yb</b>	mg/kg	0,720	0,939	0,218	0,025	0,085	0,141	0,050	0,082	0,091
<b>Zn</b>	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	102,830	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05





Slika 66. – Varijeteti juvelirskog kamena iz nanosnih ležišta u istočnom obodnom delu leckog vulkanskog kompleksa. a) mahovinasti „ahat“, b) slikoviti jaspis - makroskopski se zapaažaju fosilni ostaci posebno u centralnom delu uzorka, c) multikolorni jaspis tipične teksture silicijskog sntera, d) plavičasti kalcedon - jako izraženo prisustvo fosilnih ostataka, e) juvelirski kamen koji su slični izdancima na Sv. Petru, f) pejzažni jaspis.

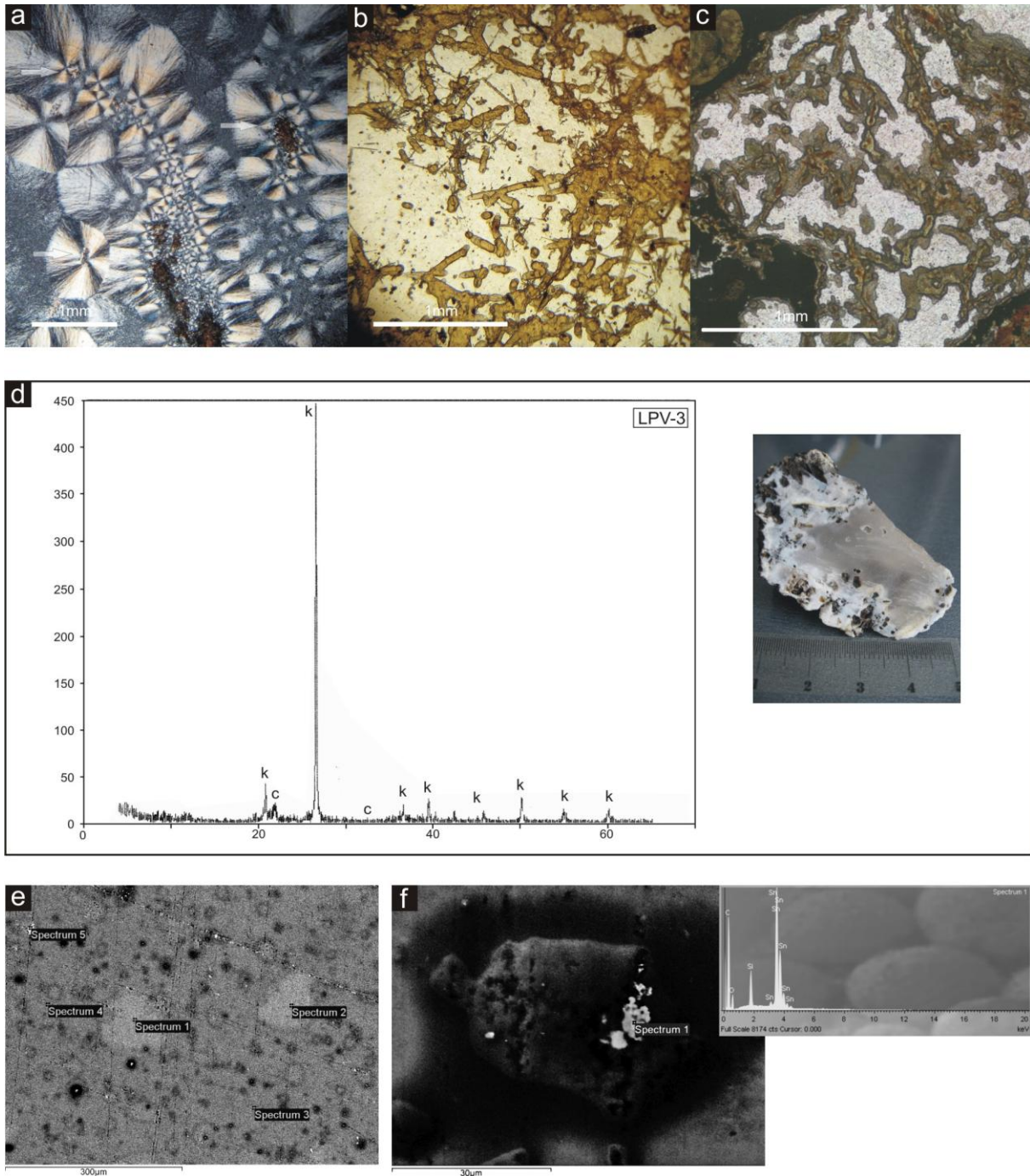
## 6.8. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA PUT ZA VLASOVO

Najzastupljenija juvelirska mineralna sirovina u nalazištu Put za Vlasovo je kalcedonom. Na osnovu rendgenske difrakcione analize praha rudnih uzoraka, u nalazištu je utvrđeno i manje prisustvo kristobalita (slika 67d) koji ukazuje na nešto niži stepen kristalizacije i niže temperature stvaranja nego što je to slučaj kod nalazišta ahata Rasovača i Mehane II. U prilog prethodnom, svedoči i odsustvo makrokristalnog kvarca na ovom prostoru.

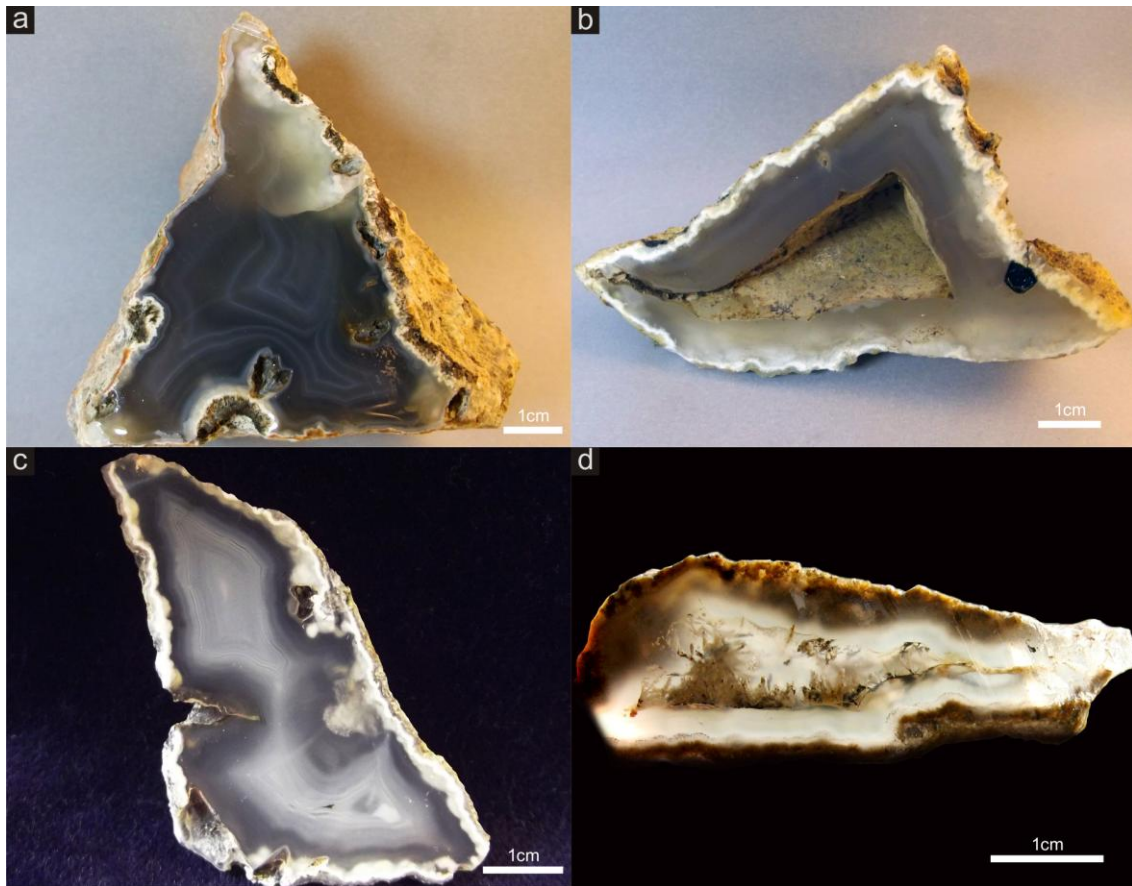
Kalcedon/ahat sa nalazišta Put za Vlasovo sadrži niže koncentracije Pb, Zn, Sb, As u odnosu na prethodno pomenuta ležišta. Takođe, u njemu je utvrđen i viši sadržaj Mn i Fe uz prisustvo niskih sadržaja Sn (sadržaji određeni ICP-MS analizom i skenirajućom elektronskom mikroskopijom). Povišene koncentracije Mn grade nagomilanja u šupljinama u kalcedonu. Izmereni indeksi prelamanja su u referentnim vrednostima za kalcedon 1,530-1,539, kao i vrednosti specifične težine (gustine) koje se kreću od 2,59-2,64.

Kalcedon, najzastupljeniji plemeniti mineral u nalazištu, je prozračan, bezbojan, siv i svetlo-plavičast. Boje ahatnih traka su najčešće bele i svetlo plave. Odgovarajućom juvelirskom obradom (specifičnim načinom orijentacije juvelirskog kamena) pomenutih minerala moguće je dobiti primerci koji kod kojih je izražen efekat sličan adularescenciji, odnosno koji podsećaju na mesečev kamen (slika 85h).

Mikroskopskim ispitivanjima su u pojedinim uzorcima kalcedona uočeni tragovi biomineralizacionih procesa, nastali aktivnošću filamentoznih bakterijskih formi. Slične pojave uočene su i u zonama kontakta kalcedona i andezita. Prema rezultatima brojnih izučavanja koja su poslednjih godina u svetu vršena u cilju rešavanja uslova koji pogoduju razvoju pomenutih termofilnih organizama, utvrđeno je da su optimalni uslovi njihove egzistencije temperature više od 45°C, ponekad i preko 80°C, a dok izvor potrebne energije za održanje životnog ciklusa iste dobijaju iz procesa oksidacije neorganskih jedinjenja. Tako na primer, utvrđeno je da se biogena silifikacija u termalnim izvorima Kenijskog rifta vrši pri temperaturama koje iznose preko 90°C (Jones & Renaut iz Zenz, J, 2011).



Slika 67. – Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u nalazištu Put za Vlasovo. a) mikrofotografija petropreparata juvelirskog kamena ahata (ukršteni nikoli) na kojoj se uočava tipičan dominantan „length fast“ kalcedon; strelice pokazuju ostatke bakterijskih formi koji mogu pretstavljati produkte bioindukovane mineralizacije; b) mikrofotografija petropreparata pokazuje filamentozne bakterijske forme u kalcedonu iz nalazišta Put za Vlasovo; c) mikrofotografija petropreparata pokazuje filamentozne bakterijske forme u Matra ahatu (izvor Zenz J., 2011); d) reprezentivni rendgenski difraktogram juvelirskog kamena (desno uzorak uzorak kalcedona od kojeg je dobijen materijal za rendgensku difrakcionu analizu, izradu petrografskog preparata i IC-MS analizu) – k - kvarc, c - kristobalit; e) SEM mikrofotografija (sekundarni elektroni) poliranog uzorka juvelirskog kamena/kalcedona – svi analizirani spektri potvrđuju da se radi o čistoj siliciji osim 5. u kojem je utvrđen i sadržaj Sn; f) SEM mikrofotografija (sekundarni elektroni.) oblasti koju na prethodnoj mikrofotografiji zahvata spektar 5 sa utvrđenim hemijskim sastavom – desno.



Slika 68. – Uzorci raznovrsnih varijeteta juvelirskog kamena ahata i kalcedona iz nalazišta Put za Vlasovo.

Slični tragovi interakcije mikrobskih kompleksa i neorganske materije (pre svega silicije), utvrđeni su i u različitim kriptokristalastim silicijskim varijetetima, koji se nalaze u frakturama i šupljinama piroksenskih andezita na južnim padinama Matra planina u Mađarskoj (Müller *et al*, 2009). Sa tih lokacija potiče i vrlo lep i tražen juvelirski kamen, tzv. Matra ahata. Pri uporednoj analizi mikrofotografija, sličnog uvećanja, Matra ahata (sl. 67c) i ahata iz Puta za Vlasovo (sl. 67b), uočavaju se skoro identične filamentozne bakterijske forme.

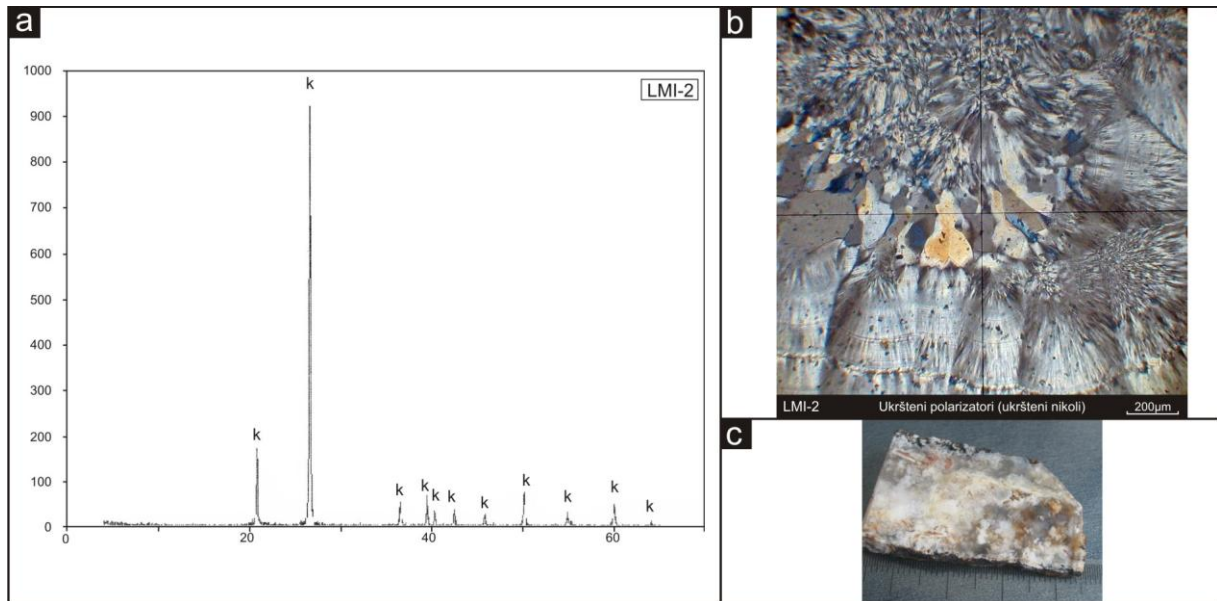
## 6.9. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA MEHANE I

Mineralni sastav juvelirskog kamena nalazišta Mehane I predstavljen je kriptokristalastim kvarcom (kalcedonom) i mikrokristalastim kvarcom. Kalcedon je prozračan do poluprozračan, različitih boja. Najčešći su beli do svetlo plavi varijeteti kalcedona, ređe braon (u različitim nijansama) do bordo-crveni. Osim „length-fast“ varijeteta koji je dominantan, u nalazištu je utvrđeno i prisustvo „length slow“ kalcedona. Važno je napomenuti da se u pojedinim petropreparatima zapažaju i fragmenti andezita i najverovatnije seladonit, koji je prethodio obrazvanju kalcedona. Mikrokristalasti kvarc najčešće ispunjava centralne delova šupljina.

Indeksi prelamanja silicijskih varijeteta juvelirskog kamena odgovaraju vrednostima indeksa prelamanja kalcedona, osim u jednom slučaju kada minimalno odstupaju (1,540) i ukazuju na nešto viši udeo kvarca. Vrednosti specifične težine (gustine) izučavanih minerala su ispod očekivanih za utvrđeni mineralni sastav. Niže vrednosti specifične težine (2,34) verovatno predstavljaju posledica izraženije poroznosti (šupljikavosti) pojedinih uzoraka, dok pojedini uzorci, bez naglašene poroznosti, dostižu vrednosti koje odgovaraju makrokristalnom kvarcu (2,65).

Vrednosti sadržaja elemenata u tragovima određene primenom ICP-MS metode ispitivanja u kalcedonu ne ukazuju na povišeno prisustvo nijednog elementa, osim Pb; utvrđena vrednost sadržaja olova, međutim, generalno posmatrano ne odstupa od vrednosti sadržaja istog elemenata u drugim ležištima juvelirskog kamena (oko 200-300 ppm).

Silifikovani tuf se odlikuje teksturom koja podseća na pejzažni jaspis, tako da se intenzivnije silifikovane partije ovog litološkog člana, mogu koristiti kao juvelirska mineralna sirovina (sl. 70c). Silifikovani tuf, kao potencijalni juvelirski kamen je bele do krem boje sa crvenkasto-braon šarama.



Slika 69. – Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u nalazištu Mehane I. a) reprezentivni rendgenski difraktogram kalcedona – k - kvarc; b) mikrofotografija petropreparata kalcedona – dominira vlaknasti kalcedon dok se u centralnom delu uočavaju zrna mikrokristalastog kvarca; c) uzorak kalcedona od kojeg je dobijen materijal za rendgensku difrakcionu analizu, izradu petrografskog preparata i IC-MS analizu.



Slika 70. Varijeteti juvelirskog kamena iz nalazišta Mehane I; a) trakasti prozračni kalcedon sa povišenim stepenom poroznosti; b) višebojni kalcedon; c) silifikovani „pejzažni“ andezitski tuf; d) sferoidalni belo-sivo-plavičasti kalcedon.

## 6.10. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA MEHANE II

Plemenite minerale u nalazištu Mehane II čine: dominantni žični hidrotermalni ahat, ametist i, u znatno manjoj meri, gorski kristal. (sl. 72).

Ahat iz nalazišta Mehane II se u ubraja u najlepše varijete juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa. Dominantno je trakastog tipa i različitih boja; preovlađuju: bela, plava, svetlo-plava, ljubičasta, crvena, braon (u različitim nijansama) i crna boja. Osim traka, ahat gradi i krustifikacione, kolomorfne, sferoidalne i kokardaste teksture što značajno utiče na porast njegove juvelirske atraktivnosti i podiže mu ekonomsku vrednost.

Pojedini teksturni varijeteti ahata sa nalazišta Mehane II mogu da se uporede sa meksičkim „crazy lace“ ahatom, koji je veoma tražen na svetskom tržištu i takođe spada u grupu žičnih hidrotermalnih ahata. Jedan broj varijeteta ahata iz nalazišta Mehane II mogao bi, prema tržišnim podelama, da bude svrstan i u grupu čipkastih ahata. Najčešći varijeteti ahata u nalazištu su oni u kojima dominiraju trake ljubičaste i plave boje.

Silicijski minerali su predstavljeni isključivo kvarcom (mikrokristalastim do makrokristalnim) i kalcedonom. „Length-fast“ kalcedon je prema podacima realizovanih istraživanja, verovatno jedini varijetet ovog minerala u nalazištu.

Ahatne trake, generalno posmatrano, izgrađuju kalcedon i kvarc. Zastupljenost kalcedona u njima slična je ahatima iz ležišta Rasovača, dok je u odnosu na ahate iz nalazišta Put za Vlasovo i Sokolov vis, znatno manja. Kalcedon i kvarc se u ahatnim trakama često smenjuju, što se jasno uočava na mikrofotografijama petropreparata pomenute mineralne sirovine (slika 71a). Njihove smene su ispoljene na kratkim rastojanjima; na širini od 4 mm, može biti prisutno i do 11 ahatnih traka.

Osim naizmenične smene kvarca i kalcedona, koja je dominantna u nalazištu, katkad se uočava i smena isključivo kvarcnih traka koje se međusobno razlikuju po veličini kristalnih zrna (gornji deo slike).

Detaljnou mineraloškom analizom je potvrđeno da se u nalazištu Mehane II uočava jasna sukcesija u prostornom i vremenskom redosledu deponovanja mineralne materije iz hidrotermalnih rastvora. Ispoljena je u smeru od zidova pukotina ka njihovom centru.

U centralnim delovima ahata, uz bezbojni kvarc često se nalazi i ametist. Kao i kvarc, on takođe, ponekad, izgrađuje pojedinačne ahatne trake.

Stepen brečizacije silicijskih žica, za razliku od juvelirskog kamena Rasovače, nije jako izražen. Druze gorskog kristala i ametista, pri trenutnom stepenu istraženosti, su retke.

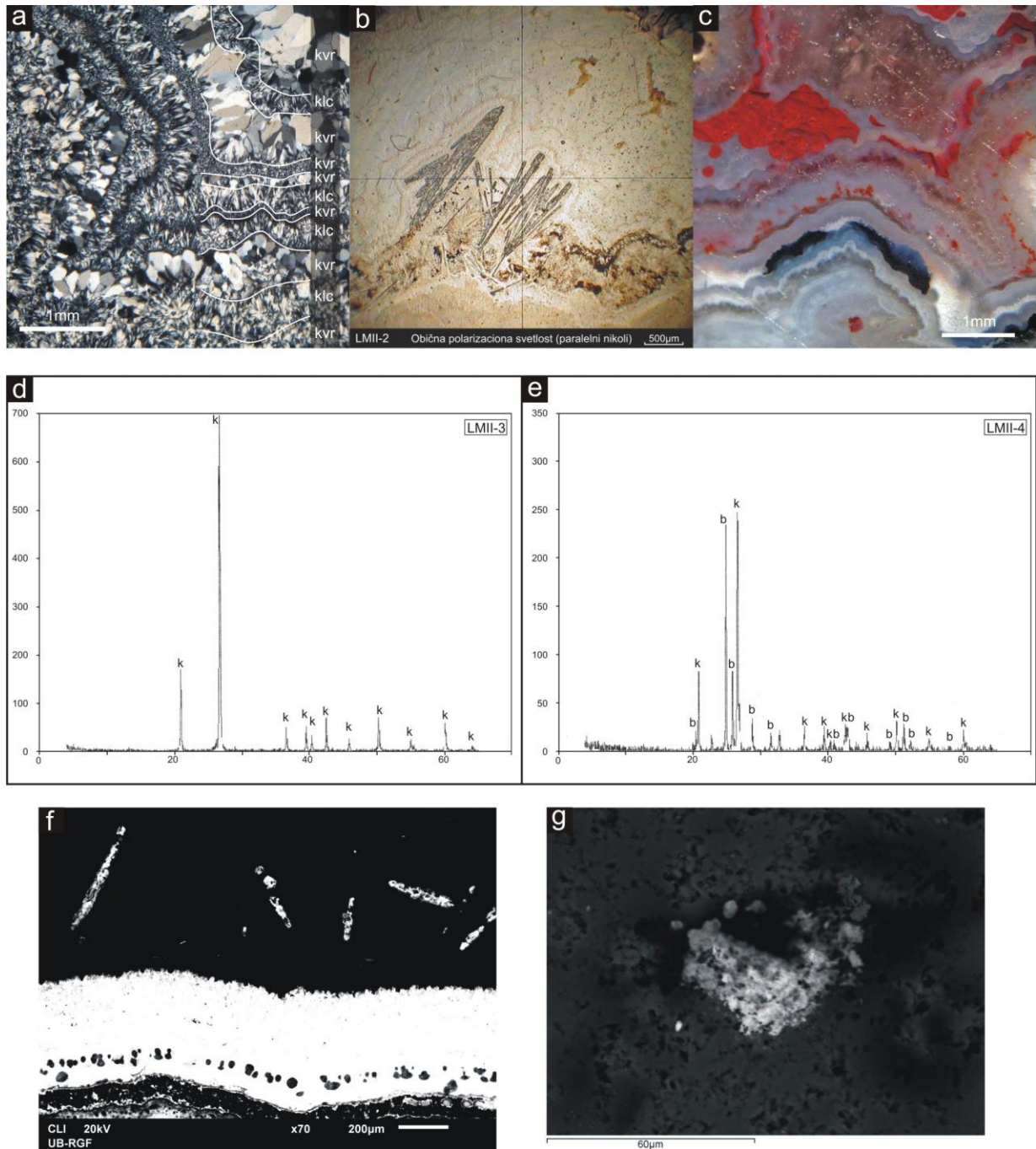
Rendgenska difrakciona analiza ahata iz nalazišta Mehane II, sprovedena je na više uzoraka. U svim slučajevima je utvrđeno da kvarc predstavlja dominantnu mineralnu komponentu, dok kristobalit ili tridimit nisu determinisani (sl. 71d). U pojedinim uzorcima utvrđeno je i povišeno prisustvo barita. ICP-MS analizom utvrđeno je da ahata sadrže povišene vrednosti Fe i Mn (do 0,6%), što značajno utiče na njihovu boju, zatim Ba (maks. 0,4%), As (300-400ppm), Sb (320ppm), Pb (250ppm), Co (150ppm) i W (>200ppm).

Izmereni indeksi prelamanja (IP) i specifična težina/gustina (ST) uzoraka ahata u potpunosti odgovaraju rezultatima drugih laboratorijskih analiza, odnosno odražavaju kvarcno-kalcedonski sastav (IP 1,53-1,54; ST 2,60-2,65).

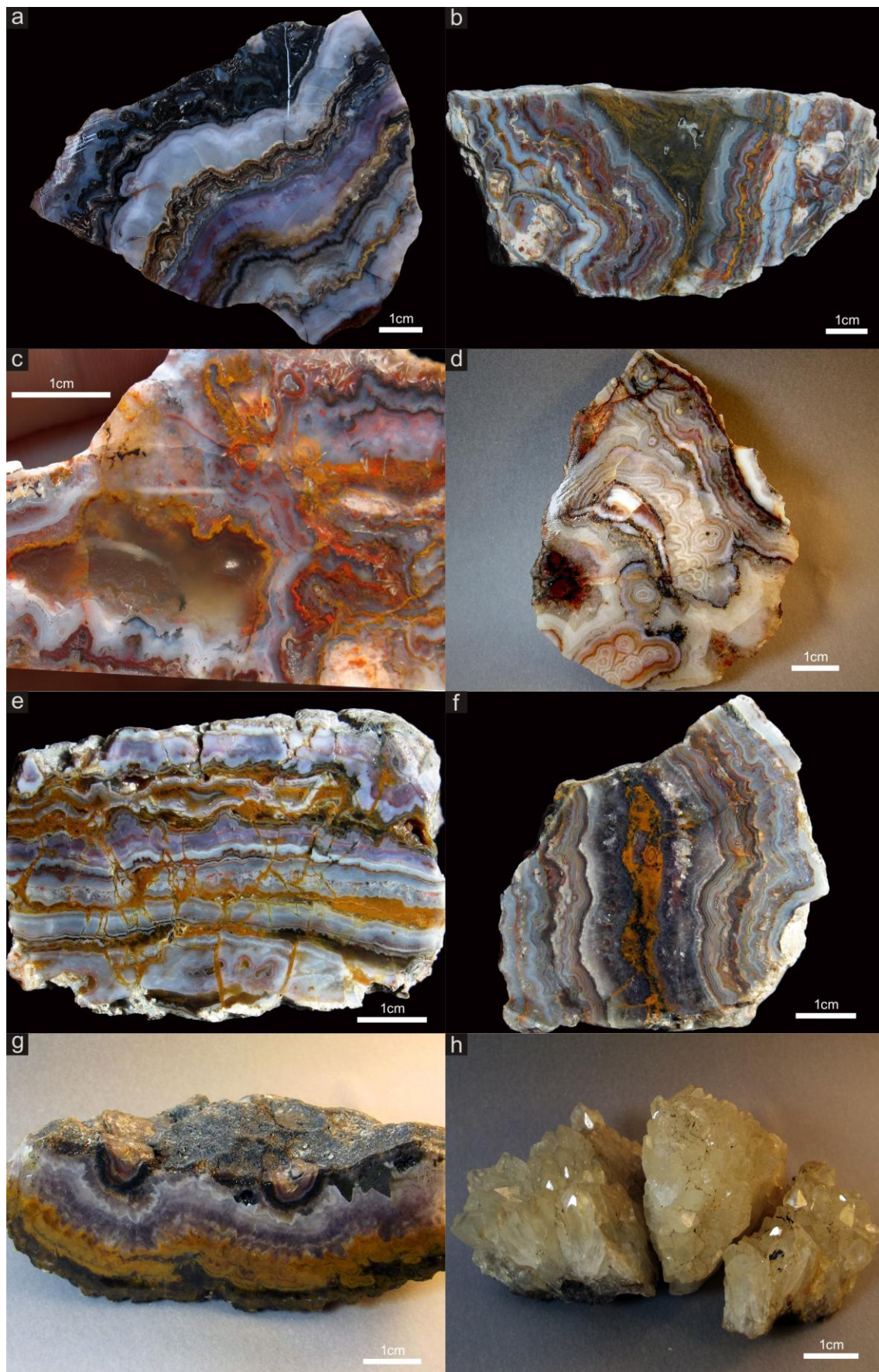
Mikroskopskim (petrografskim i gemološkim) proučavanjima uzoraka ahata u propuštenoj i odbojenoj svetlosti u istima su utvrđeni oksidi Fe i Mn, kao i barit. Uočeno je takođe, da se po baritu česte pseudomorfoze kalcedona i kvarca, što se može objasniti velikom rastvorljivošću barijuma. Na slici 71f prikazana je SEM mikrofotografija ahata, na kojoj se uočavaju kristalne forme barita u ahatu. Detaljnim laboratorijskim ispitivanjima primenom skenirajuće elektronske mikroskopije, dokazano je da kristalne forme barita izgrađuje Si sa mestimično niskim sadržajem Ba, dok je optičkom mikroskopijom utvrđeno da određenim kvarcnim/kalcedonskim trakama prethodi obrazovanje oksida Mn i Fe, kao i barita. Često na prelazu između dve ahatne trake dolazi do formiranja oksidnih minerala Fe i Mn (sl. 71c). Zbog toga, trake ahata dobijaju crvenu odnosno crnu boju.

Oksidi Fe i Mn povremeno grade sferoidalne teksturne forme, a mestimično se pojavljuju i manganski dendriti. Uočava se savijanje ahatnih silicijskih traka (obrazovanje kolomorfni teksturnih formi) uslovljeno prethodnim formiranjem kristala (npr. barita – sl. 71b) preko kojih dolazi do deponovanja nove ahatne trake. Na osnovu toga, kao i na osnovu čestih promena sastava kalcedonskih traka (kvarc/kalcedon) pretpostavljamo da je dolazilo do prekida u hidrotermalnoj aktivnosti i da je dolazilo do promena karakteristika hidrotermalnih rastvora (zasićenost SiO<sub>2</sub>, temp., pH, sastav itd.).





Slika 71. – Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u nalazištu Mehane II. a) mikrofotografija petropreparata juvelirskog kamena ahata (ukršteni nikoli) na kojoj se uočava često smenjivanje mikrokristalastog kvarca i kriptokristalastog kalcedona („length-fast“ kalcedon); b) mikrofotografija petropreparata ahata na kojoj se uočavaju kristali barita nastali između dve ahatne silicijske trake; c) mikrofotografija (gemološki mikroskop) ispoliranog uzorka ahata koja otkriva da pojedine makroskopski vidljive crne i crvene boje ahatnih traka potiču zapravo od inkluzija Fe i Mn oksida; d i e) rendgenski difraktogrami juvelirskog kamena ahata – k - kvarc, b - barit; f) SEM mikrofotografija (katodolumin.) poliranog uzorka juvelirskog kamena/ahata – crne tačkice u donjem delu slike predstavljaju okside Fe u ahatnoj traci, dok beli tabličasti oblici u gornjem delu slike prikazuju pseudomorfozu kvarca/kalcedona po baritu; g) SEM mikrofotografija (sekundarni elektroni) ahata koji prikazuje zrno oksid Fe (belo) u silicijskoj masi (sivo).

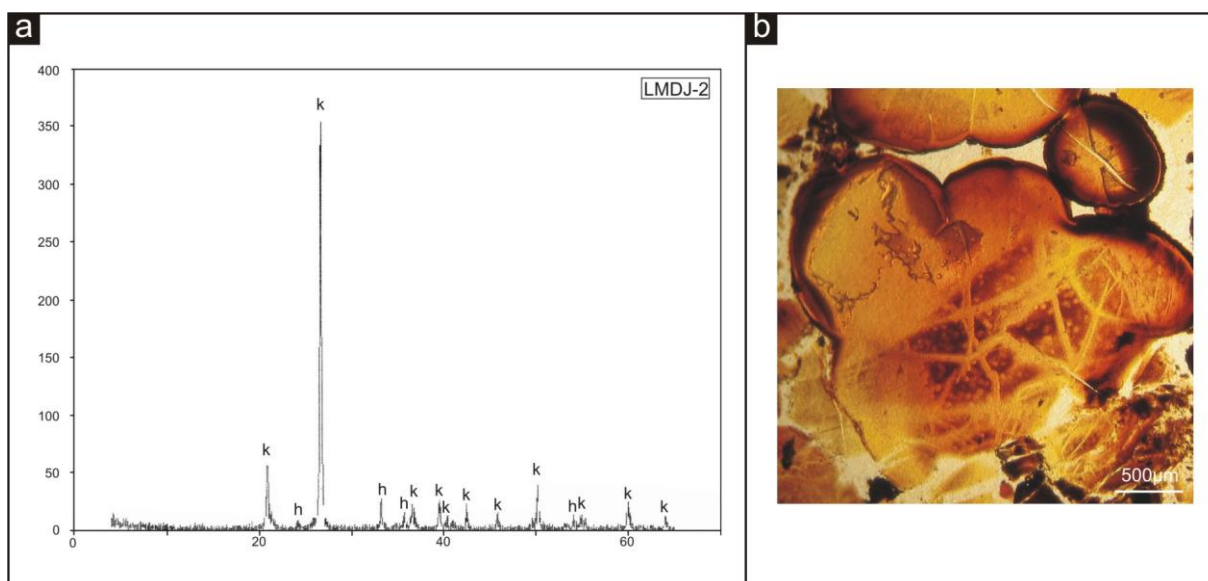


Slika 72. - Varijeteti juvelirskog kamena nalazišta Mehane II: ahat (a-f), ametist (g), gorski kristal (h).

## 6.11. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA ĐAKE

Preovlađujuća juvelirska mineralna sirovina u nalazištu Đake je jaspis. Pored jaspisa, potencijalno značajnu mineralnu sirovinu može da predstavlja i alterisani (silifikovani) andezit. Jaspis iz nalazišta Đake je dominantno crvene boje. Ona predstavlja posledicu visokog sadržaja oksida Fe. Pored jaspisa crvene boje, u nalazištu se nalaze i partije jaspisa braon boje različitih nijansi – od svetlo braon do tamnije braon i zelenkasto-braon nijanse. Alterisani andezit ima ograničenu primenu kao juvelirski kamen, jer su za juvelirsku obradu pogodne samo one partije koje se karakterišu višim stepenom opalitizacije.

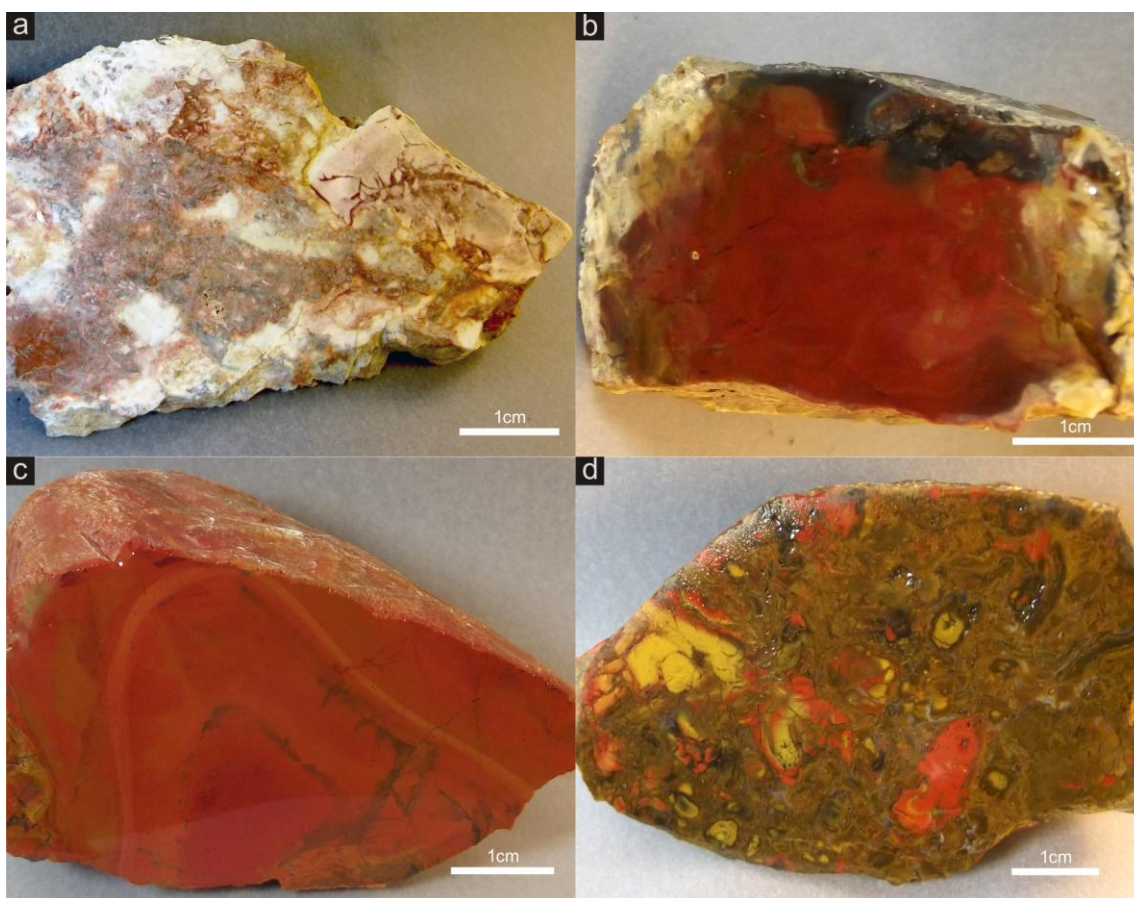
Rendgenskom difrakcionom analizom u jaspisu je utvrđeno prisustvo kvarca i hematita (sl. 73a). Petrografskim ispitivanjima istog uzorka (sl. 74d) koji je kasnije podvrgnut i ICP-MS analizi, uočava se da je kvarc predstavljen dominantnim kalcedonom (vlaknastim „length-fast“ i zrnastim – sl. 49) i vrlo retko reliktnim opalom-A. U analiziranom uzorku su osim toga uočene i sa aspekta juvelirstva veoma znaajne mikrotekturne forme u kalcedonskoj masi, koje verovatno predstavljaju ostatke biogene mikrobske aktivnosti (sl. 73b); ispoljene su kalcedonskim pseudomorfozama po filamentoznim i nodularnim ostacima bakterijske aktivnosti.



Slika 73. – Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u nalazištu Mehane I. a) reprezentativni rendgenski difraktogram jaspisa – k - kvarc, h - hematit; b) mikrofotografija petropreparata jaspisa (obična polarizaciona svetlost) u kojem se uočavaju tragovi mikrobske aktivnosti.

Imajući prethodno rečeno u vidu, moguće je naglasiti da postoji mogućnost i da je do akumulacije dela ili ukupne količine hematita u jaspisu došlo pod uticajem bakterijskih formi koje oksidišu Fe. ICP-MS analizom potvrđeno je povišeno prisustvo Fe u jaspisu (čak do 8%) i malo povišen sadržaj Mn i Pb (oko 250ppm).

Indeks prelamanja jaspisa braon boje odgovara kalcedonu i iznosi 1,532-1,537; njegova specifična težina je nešto niža, i iznosi iznosi 2.57. Indeks prelamanja crvenog jaspisa (sl. 74c) je neznatno viša 1,535-1,540 u odnosu na prethodno pomenute, kao i specifična težina (2,62), što može da ukaže da je crveni jaspis jednim delom izgrađen i od mikrokristalastog kvarca.



Slika 74. - Varijeteti juvelirskog kamena nalazišta Đake: alterisani/opalitisani andezit (a), jaspisi (b-d).

## 6.12. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA SOKOLOV VIS

Juvelirski kamen iz nalazišta Sokolov vis je predstavljen ahatima kao dominantnom mineralnom sirovinom, zatim kalcedonom i, na kraju, jaspisom.

Varijeteti ahata su juvelirski posebno značajni. Uglavnom su prozirni, skoro bezbojni. Kada se u njima nađu ahatne trake beloplavičaste boje i kada su bez makroskopski vidljivih inkluzija drugih minerala, podsećaju na ahate iz nalazišta Put za Vlasovo (sl. 76 e-f).

Drugi varijetet ahata iz nalazišta Sokolov vis podseća na poznati „Montana ahat“. U njemu se nalaze inkluzije drugih minerala, najverovatnije oksida Fe i Mn (sl. 76b).

Treći tip ahata osim pomenutih inkluzija tame boje, poseduje i zanimljive teksturne pahuljaste oblike, koji najverovatnije predstavljaju pseudomoze kalcedona po kalcitu (sl. 76c i sl. 76d).

Poslednji izdvojeni varijetet ahata sa ove lokacije ujedno je i najlepši. Karakteriše se lepim koncentričnim crvenim ahatnim trakama koje se javljaju u prozirnoj belo-plavičastoj osnovi. U centralnom delu ahata prisutni su vrlo sitni kristali kvarca ali koji su inkorporirani u poslednju fazu providnog kalcedona. Taj poslednji „sloj“ kalcedona predstavlja zidove otvorenog prostora u centralnom delu i karakteriše se karakterističnim bubrežastim agregatima.

Kalcedoni su poznati kao prozirni i skoro bezbojni varijeteti sa slabo izraženom nijansom blede plavičaste ili žućkaste boje. Ahatne trake u njima nisu jasno izražene. U većini slučajeva grade uniformne, jednoboje kalcedonske mase.

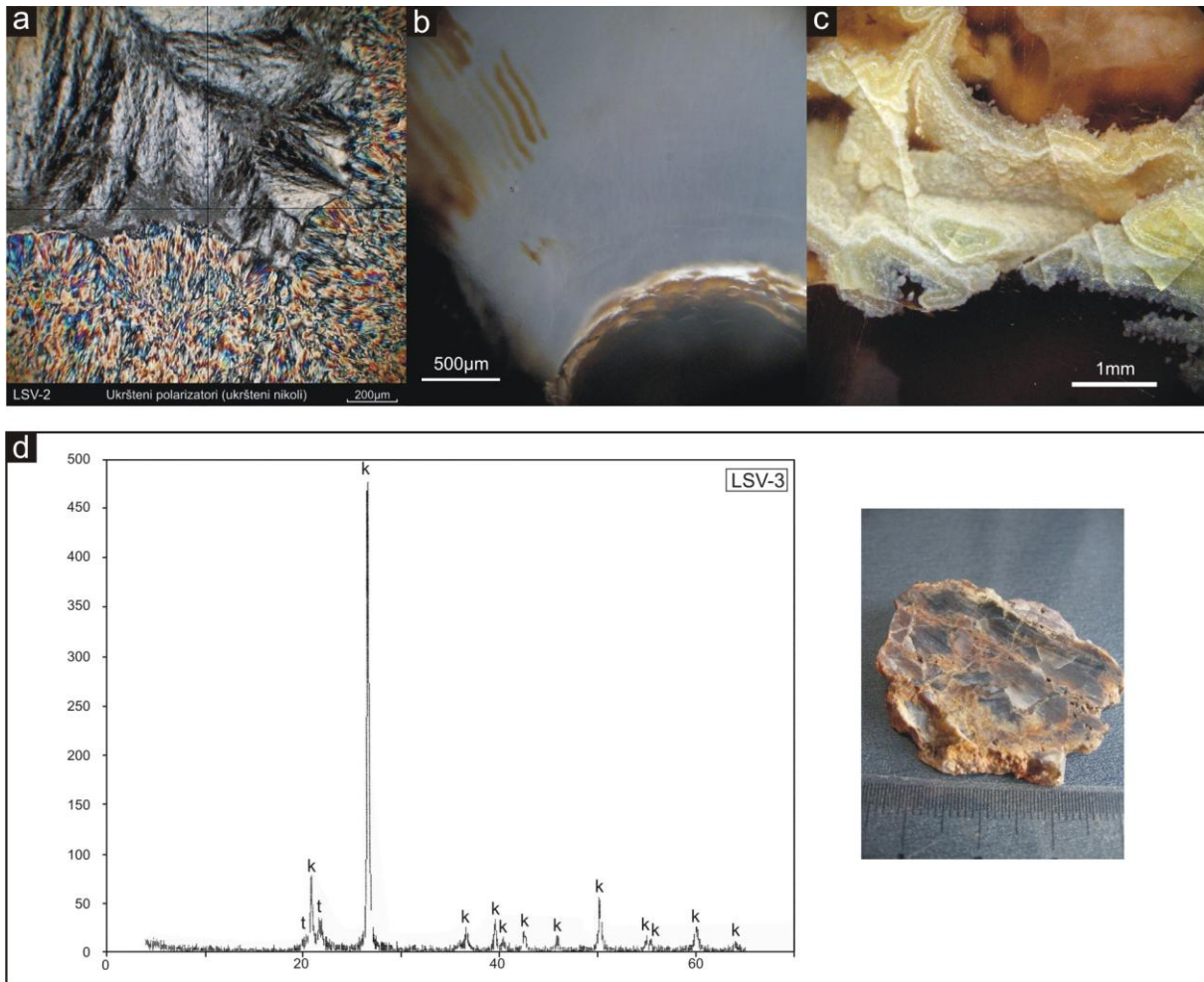
Jaspisi su uglavnom crvene boje i u sebi sadrže ostatke izmenjenog i razgrađenog silifikovanog andezita (sl. 76c).

Rendgenskom difrakcionom analizom ahata utvrđeno je da u njima dominira kvarc. U jednoj probi utvrđen je usamljeni kvarcni signal, dok je u drugoj konstatovano manje prisustvo tridimita (sl. 75d). Prethodno prikazani rezultati su ukazali na niži stepen kristalizacije ahata u odnosu na tipične žične ahate iz ležišta Rasovača i Mehane II.

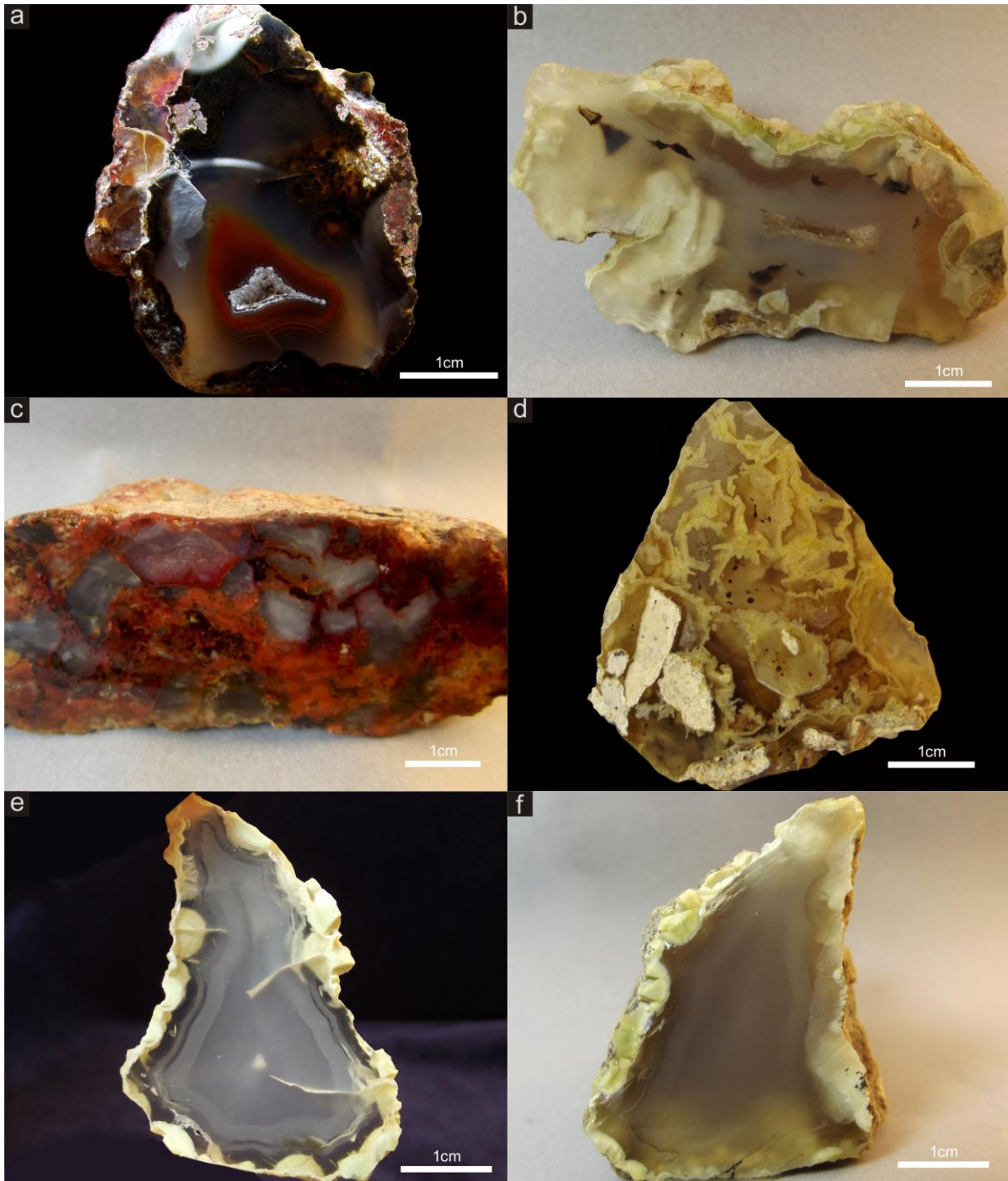
Mikroskopskom mineraloško petrografskom analizom, utvrđeno je da varijetete juvelirskog kamena na Sokolovom visu izgrađuje kriptokristalasti vlaknasti varijetet kvarca – kalcedon („length-fast“). Prisustvo kvarca u vidu mikrokristalastog i sitnog makrokristalnog kvarca, ograničeno je na centralne delove silicijske mase, u kojima se završila kristalizacija, i koji često ostaju otvoreni i nezapunjeni. Očigledno je da se kristalizacija odvijala od zidova slobodnog prostora ka njihovom centru. Na slici 75b prikazana je mikrofotografija preparata dobijena primenom gemološkog mikroskopa sa iluminacijom u tamnom polju („dark field illumination“) na kojoj se jasno uočava da je formiranje ahatnih traka prouzrokovano sferulitskom kristalizacijom kalcedonskih agregata iz silicijskog gela. Nije uočeno naknadno razlamanje već formiranih kalcedonskih masa. Nisu prisutne ni brečaste forme, a sami ahati se ne javljaju u žicama već u nepravilnim nodularnim formama.

Vrednosti indeksa prelamanja svetlosti u potpunosti podržavaju nalaze mikroskopskih mineraloško-petrografskih i gemoloških analiza. Svi varijeteti juvelirskog kamena sa ove lokacije imaju izmerene indekse prelamanja koje se kreću u granicama referentnih vrednosti za kalcedon, najčešće od 1,530 do 1,539. Vrednosti specifične težine (gustine) uzoraka su nešto niže i kreću se od 2,48 do 2,52. Pretpostavljajući zavisnost specifične težine (gustine) od starosti (*Moxon T*, 2009) može se pretpostaviti da ahati i kalcedoni sa ove lokacije spadaju u najmlađe ahate leckog vulkanskog kompleksa.

Rezultati ICP-MS analiza ahata ne pokazuju značajnije povišene vrednosti koncentracije hemijskih elemenata osim koncentracije Fe (>1000 ppm). Otuda se pretpostavlja da većinu inkluzija u ahatima i čine oksidi Fe. Znatno manji deo inkluzija može da bude Mn-oksidnog sastava, budući da se mangan nalazi u koncentraciji do 150 ppm.



Slika 75. – Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u nalazištu Sokolov vis. a) mikrofotografija petropreparata juvelirskog kamena ahata (ukršteni nikoli) prikazuje dve faze „length-fast“ kalcedona koje se razlikuju po krupnoći vlakana; b) mikrofotografija (gemološki mikroskopa sa „dark field“ iluminacijom) prikazuje sferulitsku kristalizaciju kalcedonskih agregata; c) mikrofotografija (gemološki mikroskop – odbijena svetlost) ispoliranog uzorka ahata sa pahuljastim tekturnim formama verovatnom pseudomozom kalcedona po kalcitu; d) rendgenski difraktogrami kalcedona/jaspisa – k - kvarc, t - tridimit (uzorak na kojem je izvršena XRD - desno).



Slika 76. - Varijeteti juvelirskog kamena nalazišta Sokolov vis: a) ahat sa koncentričnim crvenim ahatnim trakama; b) prozračni ahat sa inkluzijama najverovatnije Fe oksida; c) crveni jaspis sa ostacima alterisanog andezita; d) ahat sa inkluzijama Fe i zanimljivim teksturnim pahuljastim oblicima koje najverovatnije predstavljaju pseudomoze kalcedona po kalcitu; e) i f) bezbojni prozračni ahat sa beloplavičastim ahatnim trakama; prsline prisutne u obrađenom uzorku (e) nastale su prilikom poliranja tanke ahatne pločice i nisu prisutne u matičnom uzorku ahata (f).



## 6.13. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA NALAZIŠTA ŽDRALJEVIĆI

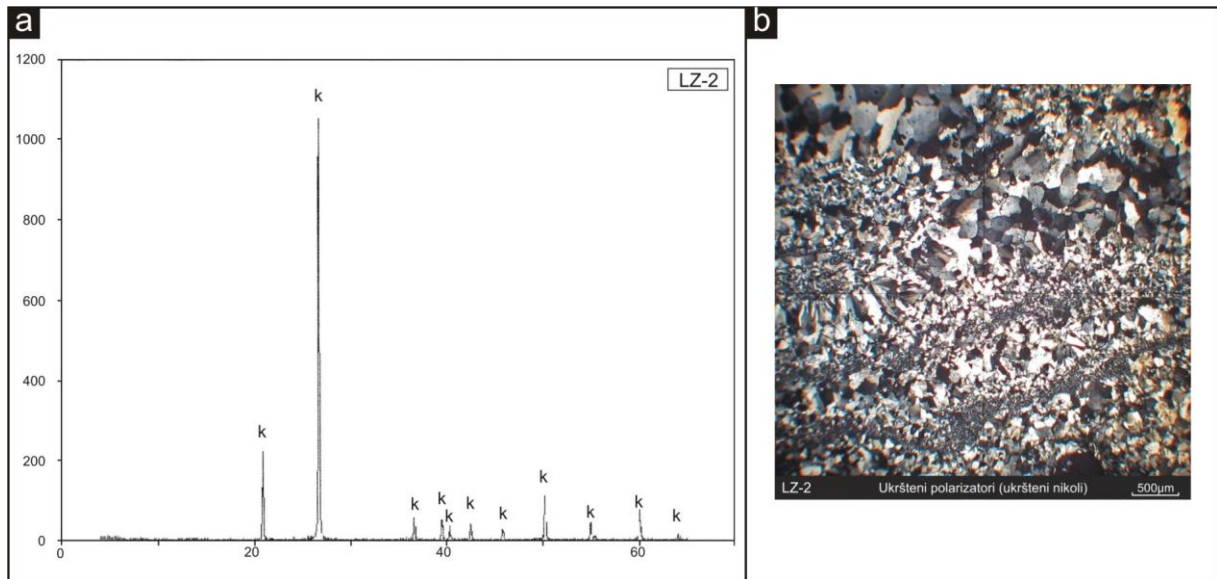
Juvelirski kamen u nalazištu Ždraljevići je predstavljen samo jednim varijetetom - ametist-ahatom. Poznat u dva oblika: kao ametist-ahat koji gradi samostalne žice i ametist-ahat koji predstavlja cement u brečiziranim, intezivno hidrotermalno alterisanim, prevashodno silifikovanim andezitima.

Ametist-ahat je dominantne krustifikacione, podređeno kokardaste teksture. Boje traka su najčešće svetlo ljubičaste, bele i zelene.

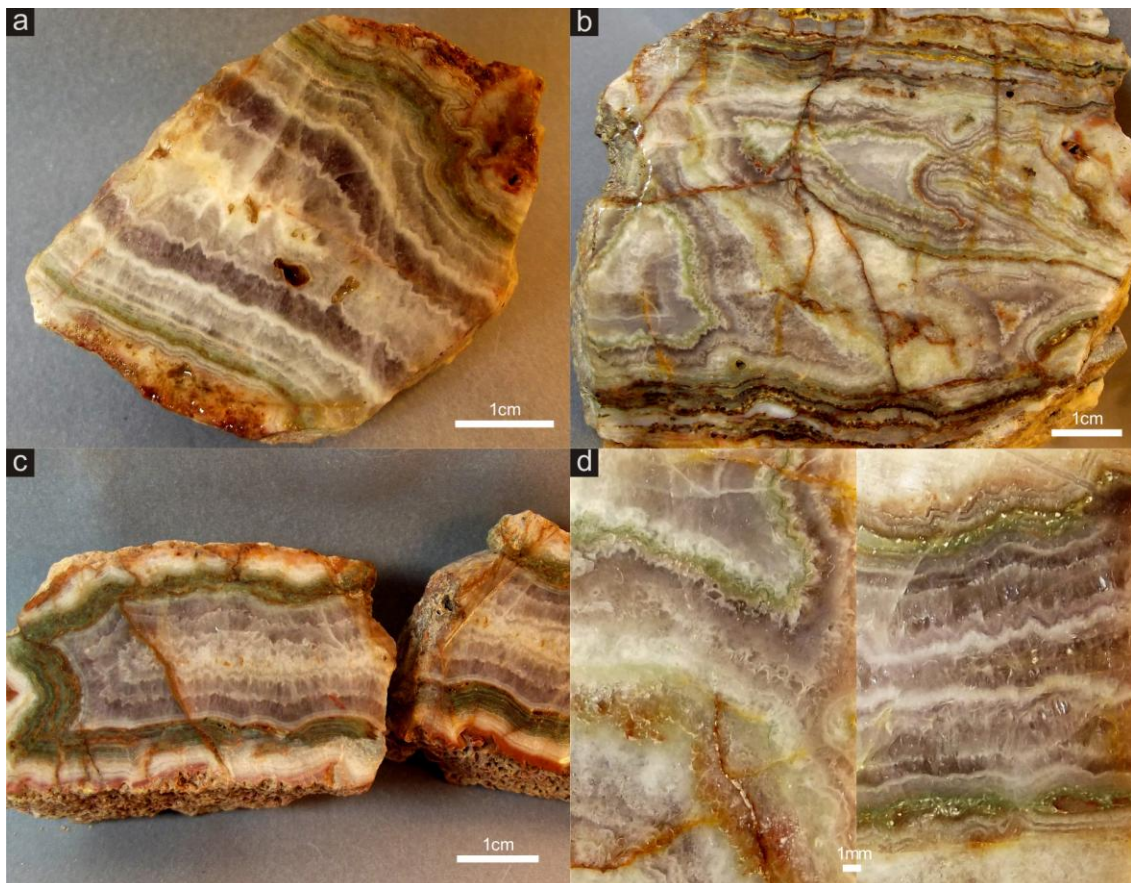
Rendgenskom difrakcionom analizom juvelirskog kamena, utvrđeno je da u sastavu mineralne sirovine dominira kvarc (sl. 77a), dok je mikroskopskim mineraloško-petrografskim ispitivanjima utvrđeno da se skoro isključivo radi o mikrokristalastom, katkad i makrokristalastom kvarcu (sl. 77b). Kriptokristalasti vlaknasti kalcedon skoro u potpunosti odsustvuje. Kvarce ahatne trake su bele, ljubičaste i zelene boje retko i braonkasto-crvene.

Rezultati merenje indeksa prelamanja svetlosti u potpunosti se podudaraju sa nalazima optičke mikroskopije. Predstavljeni su sa vrednostima koje su karakteristične za kvarc, odnosno iznose preko 1,54. Vrednosti specifične težine (gustine) se kreću oko 2,60.

ICP-MS analizama uzetih uzoraka juvelirskog kamena (ametist-kvarcnom-ahatu) utvrđene su povišene koncentracije Fe (4200 ppm) i Pb (350 ppm). Interesantno je da je u okolnom aletrisanom andezitu sadržaj olova još viši (6585 ppm), kao i da je praćen povišenim vrednostima sadržaja Cu (337 ppm). Postoji mogućnost da zelena boja kvarcnih traka potiče upravo od oksidnih minerala Cu.



Slika 77. – Mineralni sastav juvelirske mineralne sirovine u nalazištu Ždraljevići. a) reprezentivni rendgenski difraktogram kvarcnog ametist-ahata – k - kvarc; b) mikrofotografija petropreparata kvarcnog ametist-ahata (ukršteni polarizatori) u kojem se uočava da su ahatne trake u potpunosti izgrađene od kvarca.



Slika 78. - Juvelirski kamen nalazišta Sokolov vis: a-d) kvarcni ametist-ahata; a) krustifikaciona tekstura; b) delom prisutna kokardasta tekstura juvelirskog kamena; d) (levo) u gornjem delu se uočava retko prisustvo kalcedona u poliranom uzorku koji je utvrđen određivanjem indeksa prelamanja; d) (desno) „ahatne“ trake u potpunosti izgrađene od kvarca.

## 6.14. MINERALNI SASTAV I VARIJETETI JUVELIRSKOG KAMENA ALUVIJONA KOSANICE (VELIKE KOSANICE I KOSANICE)

U nalazištima juvelirskog kamena koji pripadaju klasi mehaničkih sedimenata, nalaze se raznovrsni varijeteti juvelirskog kamena. Njihov kompleksan mineralni sastav predstavlja posledicu složenog mineralnog sastava primarnih ležišta i sklopa geološke sredina iz koje primarno potiču. Otuda su pored varijeteta juvelirskog kamena koji su poznati u primarnim ležištima leckog vulkanskog kompleksa, u aluvijalnim nanosima Velike Kosanice i Kosanice nalaze i varijeteti silicijskog juvelirskog kamena čija primarna ležišta nisu poznata. U te varijetete juvelirskog kamena prvenstveno treba ubrojiti crne kalcedone, koji spadaju među najbrojnije (sl. 79 e i f), a zatim i više raznovrsnih jaspisa (sl. 79d) i ahata, među kojima se ističe ahat koji podseća na mađarski Matra ahat (sl. 79b). Među varijetete koji imaju pandan među primarnim ležištima, najbrojniji su providni bezbojni i belo-plavičasti kalcedoni i ahati, slični onima iz nalazišta Put za Vlasovo i Sokolov vis (sl. 79a). Brojni su i primerci crvenog jaspisa, a zastupljeni su i višebojni ahati kakvih imamo u nalazištu Mehane II.

Crni kalcedoni su procentualno jako zastupljeni u aluvijalnim nanosima Velike Kosanice i Kosanice. Treba imati u vidu da prirodnih i netretiranih crnih kalcedona na svetskom tržištu ima vrlo malo, i da je potražnja za njima konstantna. Nerešeno ostaje pitanje njihove geneze. Na osnovu prisutnosti fosilnih ostataka, postoji mogućnost da u analiziranim nalazištima postoje dva varijeteta crnog kalcedona, moguće, različite geneze. To su: potpuno crni kalcedoni u kojima su prisutni fosilni ostaci (sl. 79e) i crni kalcedoni koji podsećaju na obsidijane sa trakama koje nalikuju tragovima tečenja (sl. 79f gore desno). U poslednjem subvarijetetu njima nema vidljivih fosilnih ostataka. Izmereni indeksi prelamanja svetlosti oba subvarijeteta crnog kalcedona se kreću u intervalu koji je tipičan za kalcedon.

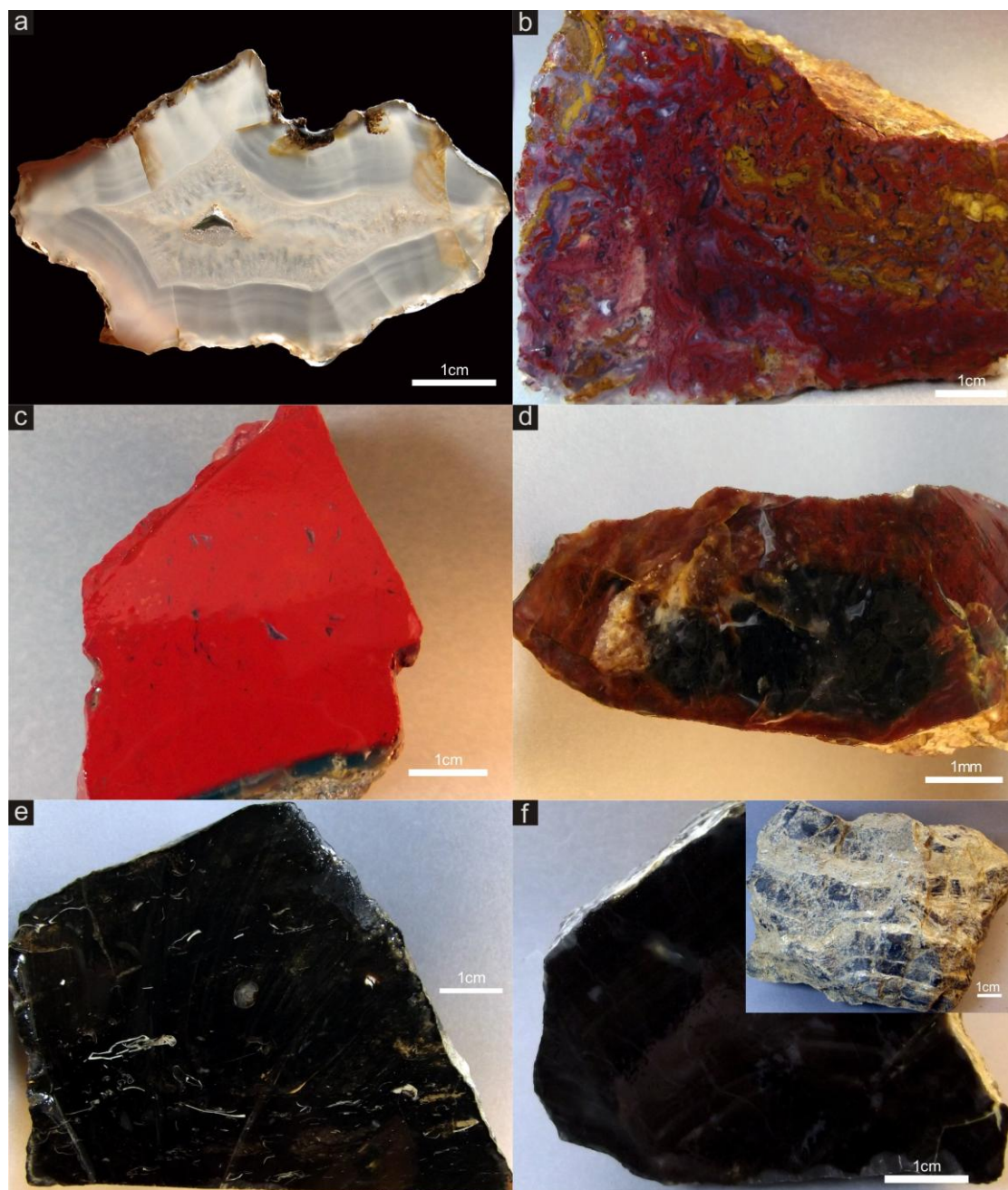
Laboratorijskim ispitivanjima juvelirskog kamena iz aluvijona Velike Kosanice i Kosanice dokazano je da je mineralna sirovina dominantno kvarcnog sastava. Na prvom mestu po zastupljenosti je kalcedon a, zatim, mikrokristalasti kvarc.

ICP-MS analizom rezultata o sadržajima različitih hemijskih elemenata u analiziranim uzorcima juvelirskih mineralnih sirovina, utvrđeno je da prozračni

bezbojni/belo-plavičasti kalcedoni/ahati iz primarnih nalazišta Put za Vlasovo i Sokolov vis, pokazuju slične vrednosti sadržaja onim koji su utvrđeni u kalcedonima i ahatima iz aluvijona Velike Kosanice i Kosanice (tabela 6). Prethodno je poslužilo kao osnova za pretpostavku o uslovima njihovog stvaranja i daljim putevima geološkog razvoja. Takođe, postoji mogućnost da su pomenuti aluvijalni nanosi delom izgrađeni od materijala iz nalazišta Sokolov vis i Put za Vlasovo.

Tabela 6. – Upoređenje sadržaja elemenata u tragovima bezbojnih kalcedona/ahata iz aluvijalnog nanosa Velike Kosanice (zasenčene kolone) sa bezbojnim kalcedonima/ahatima iz primarnih nalazišta Put za Vlasovo i Sokolov vis.

		LSV-2 Sokolov. vis	LSV-3 Sokolov. vis	LPV-2 Put za Vlas.	LPV-3 Put za Vlas.	LVK-1 Vel. Kosanica	LVK-2 Vel. Kosanica
Ag	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	4,435	<0,05	<0,05
Al	g/kg	1,589	1,389	6,310	4,649	1,213	0,232
As	mg/kg	0,768	1,745	6,119	15,630	107,621	6,608
Ba	mg/kg	3,574	5,820	<0,005	0,235	0,198	2,123
Bi	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Ca	g/kg	<0,005	<0,005	2,198	5,674	<0,005	<0,005
Cd	mg/kg	1,401	1,235	1,672	2,145	4,252	1,199
Ce	mg/kg	<0,5	1,748	2,501	<0,5	2,452	<0,5
Co	mg/kg	111,254	81,538	3,421	92,338	37,491	74,114
Cr	mg/kg	<0,05	<0,05	41,015	21,540	5,466	4,700
Cu	mg/kg	3,304	3,421	27,323	45,105	4,155	1,198
Dy	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	5,525	<0,05	<0,05
Er	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	6,567	<0,05	<0,05
Eu	mg/kg	<0,005	0,024	0,091	0,466	0,020	<0,005
Fe	g/kg	0,597	1,607	9,616	9,874	3,640	0,227
Ga	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Gd	mg/kg	1,622	1,889	3,912	9,173	0,791	<0,5
Hg	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ho	mg/kg	<0,05	<0,05	1,813	3,158	<0,05	<0,05
In	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	7,325	<0,5	<0,5
K	g/kg	0,151	0,249	0,571	0,377	0,052	0,017
La	mg/kg	0,493	0,788	3,859	16,674	1,694	<0,05
Li	mg/kg	0,449	1,630	5,199	7,200	7,126	<0,005
Lu	mg/kg	1,618	1,334	0,462	1,977	0,713	1,087
Mg	g/kg	<0,005	<0,005	1,564	1,440	<0,005	<0,005
Mn	mg/kg	88,796	67,712	3,377,126	39,687,512	51,796	31,940
Na	g/kg	<0,05	<0,05	0,875	0,304	<0,05	<0,05
Nd	mg/kg	<0,5	<0,5	1,434	8,531	<0,5	<0,5
Ni	mg/kg	17,466	16,478	22,505	38,213	7,218	7,935
Pb	mg/kg	180,401	168,643	190,042	173,143	235,176	230,862
Pr	mg/kg	<0,5	0,271	1,220	5,680	1,491	0,392
Rb	mg/kg	6,057	7,416	8,782	7,086	3,078	3,527
Sc	mg/kg	0,383	0,416	0,972	1,319	0,152	0,165
Se	mg/kg	9,492	7,075	2,378	18,160	3,062	6,504
Si	g/kg	121,833	111,598	139,451	127,348	149,304	148,050
Sm	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sr	mg/kg	13,614	11,090	42,269	91,235	4,296	<0,005
Tb	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	0,011	<0,5	<0,5
Th	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	1,765	<0,5	<0,5
Ti	g/kg	0,018	0,010	0,375	0,127	0,047	<0,05
Tl	mg/kg	<0,5	<0,5	175,970	2,819,500	<0,5	<0,5
Tm	mg/kg	0,014	<0,05	0,117	0,984	0,084	<0,05
V	mg/kg	0,922	9,605	34,234	213,160	3,940	0,000
Y	mg/kg	1,073	2,387	4,495	79,165	1,682	0,281
Yb	mg/kg	0,095	0,324	0,858	9,846	0,191	0,108
Zn	mg/kg	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05



Slika 79. - Juvelirski kamen aluvijona Kosanice i Velike Kosanice: a) ahata; b) ahata sličan Matra ahata; c) crveni jaspis; d) jaspis-kalcedon e) crni kalcedon sa fosilnim ostacima (belo); f) crni kalcedon sa trakama (gore desno) koje podsećaju na tragove tečenja.

## 7. PRIMENJENE METODE LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

Tokom realizacije doktorske disertacije primenjene su sledeće metode laboratorijskih analiza:

- mineraloško-petrografska ispitivanja,
- rendgenska difrakciona ispitivanja (XRD),
- diferencijalno termičke analize (DTA),
- hemijska ispitivanja ICP-MS metodom i ICP-OES,
- skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM) i
- gemološke metode identifikacije:
  - postupak određivanja indeksa prelamanja svetlosti (refraktometrija) uzoraka juvelirskog kamena i
  - postupak određivanja specifične težine (gustine) uzoraka juvelirskog kamena.

Osnovna težnja prilikom laboratorijskih ispitivanja bila je da se isti uzorci juvelirskih mineralnih sirovina, kao i uzorci matične stenske mase, podvrgnu primeni različitih metoda i analitičkih postupaka. Tako su, najčešće, isti uzorci iskorišćeni za XRD, ICP-MS, DTA, i mikroskopske mineraloško-petrografske analize. S druge strane, uzorci na kojima je izvršena SEM podvrgnuti su i određivanju indeksa prelamanja svetlosti i specifične težine (gustine).

### 7.1. Optička mineraloško-petrografska ispitivanja

Pregled preparata rađen je na Rudarsko-geološkom fakultetu na petrografskom mikroskopu Leitz-Weltzar sa objektivima 3,2 i 5,3, sa okularom 5x, a delom i na

gemološkom mikroskopu Mueller MTX-5c. Mikrofotografije preparata urađene su primenom digitalnih fotoaparata Canon Powershot A530 i Fuji FinePix S2950.

Mineraloško-petrografskim ispitivanjima podvrgnuto je 37 petrografskih preparata. Nakon pregleda i detaljne mineraloško-petrografske obrade, preparati su fotografisani pod paralelnim, zatim pod ukrštenim nikolima. Fotografisan je i uzorak od kojeg je izrađen petropreparat. Na prethodno pomenuti način dobijen je značajan faktografski materijal koji predstavlja dokumentacionu podlogu rada. Generalni zaključci mineraloško-petrografskih ispitivanja prikazani su u poglavlju *Mineralni sastav juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa*.

## 7.2. Rendgenska difrakciona analiza

Rendgenska difrakciona analiza je izvršena na 41 uzorku juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa. Analize su primenjene sa ciljem određivanja mineralnog (faznog) sastava juvelirskih sirovina. Ispitivanja su obavljena pomoću rendgenskog automatskog difraktometra za prah marke Philips, tip PW-1710. Upotrebljena je dugo-fokusna (LFF), bakarna anoda ( $U=40\text{kV}$  i  $I=30\text{mA}$ ), pri čemu je korišćeno  $K\alpha_1$  zračenje ( $\lambda=1,54060\text{Å}$ ) i Xe proporcionalni brojač.

Postupak rada je uključio sprašivanje uzoraka i izradu preparata u standardnom aluminijumskom ramu dimenzija  $20\times 10\times 1,5\text{mm}$ , a zatim je snimljen opseg ugla  $2\theta$  od  $5^\circ$  do  $65^\circ$ , sa korakom  $0,02^\circ$  i zadržavanjem brojača u vremenu od 0,25 sekunde. Za merenje ugaonih položaja difraktovanih maksimuma i njima pripadajućih intenziteta, primenjen je bazni program PW-1877. Obavljeno je merenje Bragg-ovih uglova  $2\theta$  i na osnovu tih vrednosti izračunata su međupljosa rastojanja „d“. Identifikacija prisutnih mineralnih faza urađena je upoređivanjem međupljosnih rastojanja „d“ i relativnih intenziteta „I“ sa odgovarajućim podacima iz literature. Difraktogrami dobijeni na ovaj način snimljeni su da bi se ustanovio mineralni sastav cele probe.

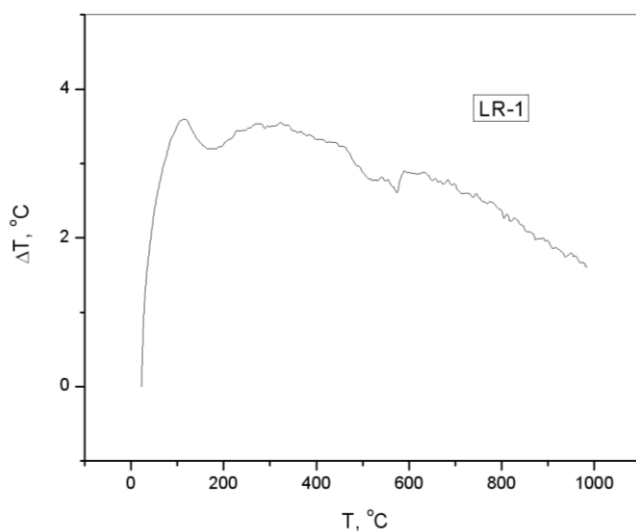
Rendgenska difrakciona analiza kao i sprašivanje uzoraka urađeni su u Geološkom institutu Srbije u Odeljenju za petrologiju, paleontologiju i mineralogiju. Analizator je bio

mr Pavle Tančić. Rezultati rendgenske difrakcione analize prikazani su u poglavlju *Mineralni sastav juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa*.

### 7.3. Diferencijalnotermička ispitivanja (DTA)

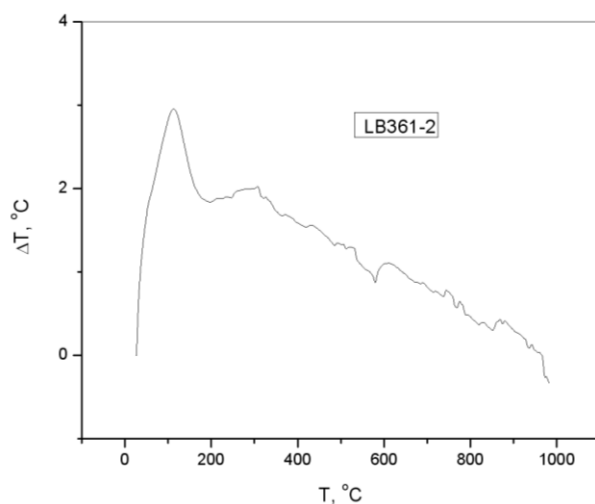
Diferencijalnotermičkom analizom (DTA) je analizirano 5 uzoraka juvelirskih mineralnih sirovina i to: LR-1 (ahat sa ležišta Rasovača), LB361-2 (jaspis sa ležišta Bučumet), LSP-4 (obsidijan/kalcedon sa pojave Sveti Petar), LMII-4 (ahat sa pojave Mehane II), LSV-2 (kalcedon sa pojave Sokolov vis). Diferencijalnotermička ispitivanja su izvršena na prethodno spraćenim uzorcima. Isti uzorci su osim za DTA korišćeni i za rendgenska i hemijska ispitivanja elemenata u tragovima.

DTA analize su rađene na Tehnološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu na aparaturi AMINCO, pod sledećim uslovima: opseg zagrevanja: 18-1000°C; brzina zagrevanja: 10°C/min; vreme trajanja zagrevanja: 101 min; termopar: platina/platina-rodijum (Pt/Pt-Rh); posude: platinske; masa probe: 100 mg; referentna proba: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 100 mg; atmosfera: vazduh. Rezultati DTA analiza su obrađeni odgovarajućim softverom i prikazana u grafičkom obliku. U narednom delu prikazane su krive odnosno grafikoni DTA analiza gore pomenutih uzoraka juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa.

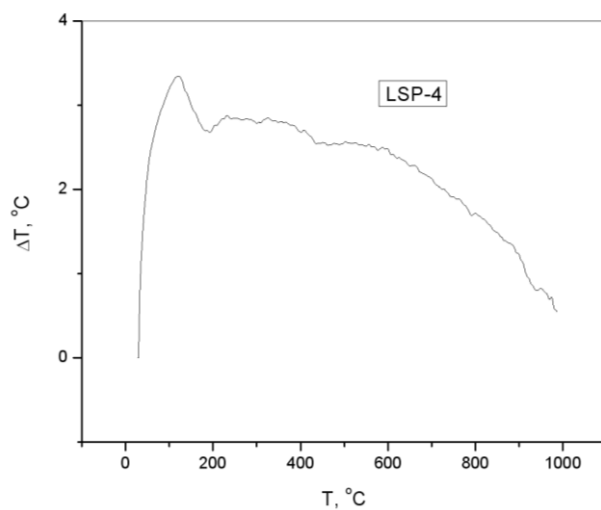


Slika 80. - DTA analiza uzorka ahata (LR-1) iz ležišta Rasovača

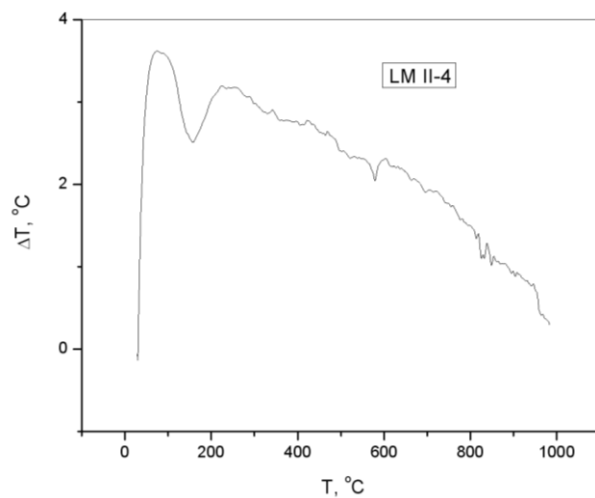




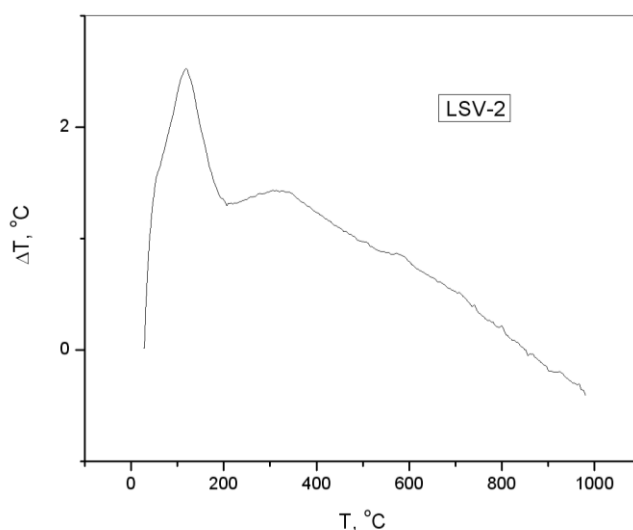
Slika 81. - DTA analiza uzorka jaspisa (LB361-2) iz ležišta Bučumet



Slika 82. - DTA analiza uzorka obsidijana/kalcedona (LSP-4) iz pojave Sveti Petar



Slika 83. - DTA analiza uzorka ahata (LMII-4) iz pojave Mehane II



Slika 84. - DTA analiza uzorka kalcedona (LSV-2) iz pojave Sokolov vis

Diferencijalnotermička ispitivanja su predstavljala kontrolnu metodu ispitivanja kojom nisu dobijeni značajno novi podaci, već je samo potvrđen stepen pouzdanosti rezultata ranije korišćenih metoda.

## 7.4. Hemijska ispitivanja – ICP/MS

Hemijska ispitivanja su rađena u laboratoriji Acme Analytical Laboratories, iz Vankuvera, Kanada. Ispitivanja su izvršena na 12 spršenih uzoraka, koje su sačinjavali: 6 uzoraka mineralne sirovine (ahati, kalcedon, jaspis, ametist) i 6 uzoraka matične stene (5 andezita i 1 tuf). Uzorci su prethodno samleveni na 100 mesh-a. Analiza je urađena primenom indukovane kuplovane plazma masene spektrometrije (ICP-MS) sa određivanjem elemenata u tragovima (41 element), pri čemu je priprema vršena sa četiri kiseline. Uzorak (0,25g) je zagrevan do isparavanja u 3 kiseline –  $\text{HNO}_3$ - $\text{HClO}_4$ -HF, zatim je vršeno sušenje, a ostatak je rastvoren u HCl kiselini. Rezultati ove analize prikazani su u tabeli 7.

Ispitivanjima su potvrđeni rezultati ispitivanja na 41 uzorku juvelirskog kamena i okolnih stena nalazišta, koja su izvršena na Hemijskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Korišćeni su isti uzorci u prahu (samleveni na 100 mesh-a) koji su kasnije upotrebljeni za analitiku u kanadskoj laboratoriji. Priprema uzoraka je vršena rastvaranjem u sledećim kiselinama:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  96%,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  85%,  $\text{HNO}_3$  65%, HF 40%. Dobijeni rezultati nisu bili

dovoljno pouzdani, zbog čega je izvršena naknadna kontrola u kanadskoj laboratoriji *Acme Analytical Laboratories*. U prvobitnim analizama greške nisu bile sistematskog karaktera, tako da nisu korišćene kao relevantne, ali se mogla izvršiti korelacija između pojedinih nalazišta, posebno između primarnih i sekundarnih orudnjenja.

Tabela 7. Rezultati hemijskih analiza primenom ICP masene spektrometrije (u ppm)

element nivo det.	Li 0.1	Na 10	K 10	Rb 0.1	Be 1	Mg 100	Ca 100	Sr 1	Ba 1	Sc 1	Ti 10	V 1	Cr 1	Mn 1
LR-3	62.3	750	13200	56.8	1	700	1100	80	334	5	970	119	8	186
LB361-2	14.2	120	600	2.8	1	200	500	19	162	<1	30	106	3	2939
LSP-4	0.8	50	300	2.4	1	1300	1600	28	213	<1	10	437	25	175
LPV-2	6.1	2790	2000	13.7	2	4100	5100	126	1416	3	630	37	33	7082
LMII-3B	6.2	90	300	0.9	3	100	300	145	4006	<1	40	10	3	801
LZ-2	52.2	300	700	3.4	<1	300	600	20	55	<1	140	3	4	46
LR-2	62.8	690	900	4.2	6	800	1300	41	61	1	180	17	4	43
LB361-1	10.5	4790	44700	227.9	2	1500	1600	122	1152	10	3550	105	8	286
LPV-1	9.9	26730	10600	17.2	2	19400	48700	674	828	17	4160	140	88	863
LMII-1	28.1	4770	41000	242.2	1	2300	3500	287	2253	10	2370	78	15	401
LZ-1	16.0	600	17400	89.5	2	4400	900	178	618	11	2600	77	16	166
LSP-3	7.6	10260	10500	43.9	2	6000	12000	563	869	7	2010	174	29	113

element nivo det.	Fe 100	Co 0.2	Ni 0.1	Cu 0.1	Zn 1	Y 0.1	Zr 0.1	Nb 0.1	Mo 0.1	Ag 0.1	Cd 0.1	Hf 0.1	Ta 0.1	W 0.1
LR-3	19700	41.4	12.0	62.0	154	5.6	34.0	1.5	0.6	79.3	0.6	0.8	0.2	>200.0
LB361-2	5000	98.8	18.2	16.1	12	5.5	0.6	0.3	2.3	4.9	<0.1	<0.1	0.6	>200.0
LSP-4	26600	19.7	21.5	52.0	111	4.0	3.6	0.5	1.9	0.1	0.4	<0.1	<0.1	0.6
LPV-2	19400	7.4	34.8	32.4	33	7.0	17.8	1.9	2.0	0.3	0.2	0.4	0.1	0.6
LMII-3B	5100	132.0	23.3	8.2	60	0.9	0.2	<0.1	0.4	2.7	<0.1	<0.1	<0.1	>200.0
LZ-2	4200	183.0	41.7	41.1	32	1.2	2.9	<0.1	0.4	1.8	<0.1	<0.1	<0.1	192.4
LR-2	1400	71.8	15.8	12.4	22	2.0	10.0	0.8	0.1	27.3	<0.1	0.3	0.4	>200.0
LB361-1	9700	38.5	14.9	11.4	220	5.7	114.1	7.3	0.6	3.3	<0.1	3.4	1.2	>200.0
LPV-1	40000	31.8	42.8	47.2	74	15.0	119.6	12.8	0.9	0.2	0.2	3.1	1.2	126.3
LMII-1	29100	25.1	11.7	14.3	80	12.0	74.1	4.0	0.8	0.5	<0.1	2.1	0.8	183.8
LZ-1	41000	1.7	6.6	337.6	294	4.3	27.0	5.3	5.7	1.9	0.7	0.8	0.4	4.0
LSP-3	10400	7.2	25.2	31.9	55	18.2	117.4	8.2	0.4	0.5	0.2	3.1	0.6	26.7

element nivo det.	Au 0.1	Al 100	Sn 0.1	Pb 0.1	Bi 0.1	As 1	Sb 0.1	P 10	S 1000	La 0.1	Ce 1	Th 0.1	U 0.1
LR-3	<0.1	24600	0.5	303.2	0.7	111	165.3	170	<1000	11.7	20	5.2	1.7
LB361-2	<0.1	1600	0.1	4.6	<0.1	26	197.8	20	<1000	1.6	3	0.1	23.5
LSP-4	<0.1	1100	1.0	9.7	0.4	236	8.2	70	<1000	2.8	4	<0.1	109.2
LPV-2	<0.1	14100	2.1	15.8	0.3	12	26.8	140	<1000	7.8	14	2.1	1.2
LMII-3B	<0.1	900	<0.1	101.6	0.1	358	322.1	10	<1000	1.4	3	0.1	1.1
LZ-2	<0.1	5000	0.3	348.4	4.0	20	39.1	70	<1000	2.8	5	0.8	0.3
LR-2	1.1	6100	0.3	217.3	0.1	22	125.7	60	<1000	3.5	6	1.6	0.8
LB361-1	<0.1	85900	1.8	31.5	<0.1	21	78.7	120	<1000	15.3	31	13.6	3.9
LPV-1	<0.1	75000	1.5	31.9	0.1	6	1.2	1040	<1000	22.2	45	10.4	3.1
LMII-1	<0.1	70900	0.7	25.0	<0.1	59	103.2	470	<1000	25.4	41	14.6	2.9
LZ-1	<0.1	73200	4.4	6585.8	3.0	32	16.4	980	2000	15.6	32	11.0	3.0
LSP-3	<0.1	57000	1.6	47.1	0.7	7	4.4	440	<1000	35.1	62	18.6	7.3

LR-3 - ametist iz nalazišta Rasovača, LB361-2 - jaspis iz nalazišta Bučumet, LSP-4 - opal sa izdanka na Svetom Petru, LPV-2 - kalcedon iz nalazišta Put za Vlasovo, LMII-3B - ahata iz nalazišta Mehane II, LZ-2 - kvarcni ahata iz nalazišta Ždraljevići; preostali su uzorci matičnih stena iz korespondirajućih nalazišta.

## 7.5. Skenirajuća elektronska mikroskopija

Ispitivanja na skenirajućem elektronskom mikroskopu su izvršena na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Korišćen je instrument tipa Joel JSM-6610LV. Osim direktnog mikroskopiranja rađeno je i određivanje hemijskog sastava uzoraka. Korišćena su sva četiri vida detekcije: backscattered electrons (BSE), secondary electrons (SE), cathodoluminescence (CL) i X-Ray spectrometers (EDS).

Ispitivanja su izvršena na 5 ispoliranih uzorka juvelirskog kamena u cilju mikroskopiranja i prikupljanja hemijskih podataka pri akceleratorском naponu od 20kV i radnoj distanci od 10mm. Uzorci su pripremljeni presvlačenjem ugljenikom u vakuumu („evaporated carbon coating method“) da bi se uzorci učinili provodljivim. Za kvantitativnu analizu, mikroskop je kalibrisan za glavne elemente korišćenjem sledećih standarda: Na albit, Si almandin, P GaP, Cl KCl, K MAD-10 feldspat, Mn spesartin, Fe almandin, Zn Zn, As InAs, Sb Sb, Ba BaF<sub>2</sub>. Procena zastupljenosti glavnih hemijskih elemenata izvršena je na na 47 tačaka odnosno oblasti uzoraka juvelirske mineralne sirovine.

Uzorci za ispitivanja su izabrani tako da obuhvate sve glavne, primarne genetske tipove ležišta. Ispitivani su uzorci ahata iz nalazišta Rasovača, jaspis iz nalazišta Bučumet, ahat iz nalazišta Mehane II, kalcedon iz nalazišta Put za Vlasovo i crni opal sa izdanka na Svetom Petru. Rezultati ispitivanja su prezentirani u poglavlju *Mineralni sastav*.

## 7.6. Gemološke metode identifikacije

Određivanje indeksa prelamanja svetlosti – R.I. i određivanje specifične težine – S.G. su dva vrlo značajna postupka gemoloških metoda ispitivanja.. Budući da su proistekle iz mineralogije, istovremeno pripadaju i geološkim odnosno mineraloškim metodama ispitivanja. Njihova specifičnost u odnosu na druge gemološke metode ogleda se u njihovoj nedestruktivnosti.

### 7.6. 1. Određivanje indeksa prelamanja svetlosti (refraktometrija)

Refraktometrija, odnosno određivanje indeksa prelamanja svetlosti se pokazalo kao kao veoma korisna i prikladna laboratorijska metoda ispitivanja juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa. Njena prednost u odnosu na mnoge druge, tzv. klasične laboratorijske metode ispitivanja koje ne prave razliku između mineralnih faza silicije (kalcedona, kvarca, opala) u ispitivanom uzorku, ili ih je u njima relativno teško utvrditi, omogućava relativno jednostavno razlikovanje minerala kao što su kvarc, kalcedon, opal i drugi, jer isti imaju različite indekse prelamanja svetlosti. Drugim rečima, primena metode se zasniva na činjenici da je vrednost refrakcije, odnosno prelamanja svetlosti konstantna za svaki pojedinačni mineral, te se stoga može koristiti za njegovu identifikaciju. Indeks prelamanja je definisan proporcionalnim odnosom između brzine svetlosti u vazduhu i mineralu (odnosno nekom drugom materijalu).

Određivanje indeksa prelamanja u gemologiji se najčešće određuje korišćenjem refraktometra (metodom određivanja kritičnog ugla totalne refleksije), zatim, upotrebom imerzionih tečnosti (imerzionom metodom) i mikroskopa (direktnom metodom). Tokom izučavanja uzoraka juvelirskih mineralnih sirovina za potrebe ove disertacije, određivanje indeksa prelamanja svetlosti, izvršeno je u laboratoriji Rudarsko-geološkog fakulteta, na Departmanu za ekonomsku geologiju, na gemološkom refraktometru standardnog tipa — model CL-181 firme Gain Express (Hong Kong). Tokom ispitivanja je korišćena imerziona tečnost indeksa prelamanja 1,81. Uzorci su ispolirani dijamantskom polir pastom granulacije 1/0 (mikrona) na fasetirajućoj mašini za brušenje dragog kamenja Ming Xing LZM-2E. Ukupno je izvršeno ispitivanje na 55 uzoraka juvelirske mineralne sirovine.

Rezultati refraktometrije uzoraka juvelirskog kamena dati su u tabeli 8 zajedno sa vrednostima specifičnih težina (gustina).

### 7.6.2. Određivanje specifične težine (S.G)

Određivanje specifične težine uzoraka juvelirskog kamena iz nalazišta leckog vulkanskog kompleksa izvršeno je primenom hidrostatičkog postupka, na Departmanu za ekonomsku geologiju Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Za potrebe

ispitivanja korišćena je digitalna vaga Diamond model 100 maksimalne nosivosti 100g, i preciznosti 0,01g. Određivanju specifične težine podvrgnuti su isti uzorci juvelirskog kamena koji su korišćeni pri ispitivanju indeksa prelamanja svetlosti (R.I.). Ispitivanje je izvršeno na istih 55 uzoraka koji su bili podvrgnuti refraktometriji. Rezultati ispitivanja specifične težine dati su u sledećoj tabeli:

**Tabela 8. – Vrednosti izmerenih indeksa prelamanja (max i min) i specifične težine (gustine) uzoraka juvelirske mineralne sirovne**

<b>Nalazište</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Opis uzorka</b>	<b>Indeks prel. IRmax</b>	<b>Indeks prel. IRmin</b>	<b>Spec. tež (gustina)</b>
Rasovača	LIPG-R-1	Ahat	1.554/1.535	1.545/1.530	2.62
	LIPG-R-2	Ahat	1.549/1.535	1.540/530	2.65
Bučumet	LIPG-B-1	Jaspis	1.539	1.531	2.63
	LIPG-B-2	Jaspis	1.535	1.530	2.63
Vrtače	LIPG-V-1	Jaspis	1.529	1.533	2.61
	LIPG-V-2	Mahovinasti ahat	1.539	1.532	2.64
	LIPG-V-3	Jaspis	1.545	1.530	2.59
	LIPG-V-4/1	Kalcedon	1.539	1.532	2.58
	LIPG-V-5/2	Kalcedon	1.537	1.531	2.53
	LIPG-V-6/3	Jaspis	1.541	1.537	2.61
	LIPG-V-7/4	Kalcedon	1.539	1.531	2.58
	LIPG-V-8/5	Kalcedon	1.538	1.532	2.63
	LIPG-V-9/6	Kalcedon	1.535	1.530	2.62
	Kameno rebro	LIPG-KR-1	Jaspis	1.532	1.530
LIPG-KR-2		Karneol	1.535	1.530	2.60
LIPGKR-3/1		Jaspis	1.539	1.530	2.59
LIPG-KR-4/2		Kalcedon	1.530	1.530	2.58
LIPG-KR-5/3		Kalcedon	1.531	1.530	2.53
LIPG-KR-6/4		Jaspis sa kalcedonom	1.539	1.530	2.59
Gajtan-Crvodik	LIPG-GC-1	Jaspis crveni	1.538	1.532	2.58
Pusto Šilovo	LIPG-PS-1	Silifikovano drvo (braon)	1.536	1.530	2.52
	LIPG-PS-2	Silifikovano drvo (plavo)	1.538	1.534	2.61
	LIPG-PS-3	Jaspis	1.539	1.532	2.63
	LIPG-PS-4	Jaspis	1.537	1.530	2.58
	LIPG-CAR	Mahovinasti ahat	1.532	1.530	2.66
Put za Vlasovo	LIPG-PV-1	Kalcedon	1.539	1.531	2.64
	LIPG-PV-2	Kalcedon	1.539	1.530	2.63
	LIPG-PV-3	Ahat	1.538	1.530	2.59
Mehane I	LIPG-MI-1	Pejzazni andezit	1.530		2.56
	LIPG-MI-2	Kalcedon	1.536	1.530	2.34
	LIPG-MI-3	Kalcedon	1.539	1.530	2.61
	LIPG-MI-4	Kalcedon jaspis	1.539	1.532	2.68

<b>Nalazište</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Opis uzorka</b>	<b>Indeks prel. IRmax</b>	<b>Indeks prel. IRmin</b>	<b>Spec. tež (gustina)</b>
	LIPG-MI-5	Kalcedon-jaspis	1.540	1.531	2.48
Mehane II	LIPG-MII-1	Ahat	1.540	1.530	2.65
	LIPG-MII-2	Ahat	1.540	1.532	2.64
	LIPG-MII-3	Kalcedon	1.538	1.532	2.61
	LIPG-MII-4	Kalcedon	1.539	1.531	2.63
Male Đake	LIPG-MDJ-1	Silifikovani andezit			2.18
	LIPG-MDJ-2	Jaspis	1.537	1.532	2.57
	LIPG-MDJ-3	Crveni jaspis	1.540	1.535	2.62
Sokolov vis	LIPG-SV-1	Ahat u boji	1.539	1.530	2.48
	LIPG-SV-2	Kalcedon-jaspis	1.538	1.531	2.52
	LIPG-SV-3	Ahat bezbojni	1.539	1.530	2.52
	LIPG-SV-4	Ahat zuckasti	1.540	1.530	2.60
Ždraljevići	LIPG-Z-1	Ametist kvarcni ahat	1.547	1.535	2.59
	LIPG-Z-2	Ametist kvarcni ahat	1.549	1.540	2.59
Kosanica	LIPG-K-1	Ahat	1.540	1.531	2.61
	LIPG-K-2	Crveni mahovinasti	1.535	1.530	2.54
	LIPG-K-3	Kalcedon	1.536	1.530	2.55
	LIPG-K-4	Crni kalcedon	1.530	1.530	2.59
	LIPG-K-5	Crni kalcedon	1.538	1.531	2.59
Caričina-Sekicol	LIPG-CS-1	Jaspis-kalcedon	1.537	1.533	2.61
	LIPG-CS-2	Jaspis-kalcedon	1.538	1.534	2.57
	LIPG-CS-3	Jaspis-kalcedon	1.539	1.532	2.50
	LIPG-CS-4	Jaspis-kalcedon	1.536	1.530	2.61

## 8. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE JUVELIRSKOG KAMENA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Da bi određeni mineral ili stena mogao da bude tretiran kao juvelirska mineralna sirovina, mora da zadovolji tri osnovna kriterijume: da poseduje zadovoljavajuće estetske karakteristike, da je postojan i da je redak.

Zadovoljavajuće estetske karakteristike, odnosno "lepota" su prvo, najvažnije i najočiglednije svojstvo koje plemeniti kamen mora posedovati. „*Optičke osobine plemenitih minerala, tj. one koje im dolaze od ponašanja spram svetlosti, imaju naročiti značaj s obzirom na svrhe kojima su namenjeni, jer od ovih osobina dolazi sva lepota i draž jednog kamena*“ (S. Urošević, 1925).

Među najznačajnije optičke karakteristike plemenitog kamena, koje utiču na njegove estetske karakteristike (lepotu), ubrajaju se: boja, providnost, sjajnost, kao i razni vidovi igre svetlosti - šatojancija, asterizam i irizacija.

Postojanost plemenitih minerala i stena predstavlja zbir, pre svega, fizičkih, ali, i hemijskih osobina juvelirske mineralne sirovine (plemenitog minerala ili stene) koje daju obrađenom dragom kamenu sposobnost da trajno zadrži svoju formu. Najvažnije osobine dragog kamena od kojih zavisi njegova postojanost su: tvrdina, udarna žilavost (otpornost na cepanje i lomljenje), otpornost na habanje i hemijska stabilnost tj. otpornost na delovanje atmosferilija, vode i često upotrebljivanih hemikalija (M. Ilić, 1998).

Retkost plemenitih minerala i stena predstavlja generalno pravilo za svaki varijetet, jer čak i kod mineralne vrste koje se, uslovno, smatraju veoma čestim, kao što je kvarc, samo njihov mali broj se može smatrati juvelirskim kamenom. Lepi primerci varijeteta kvarca – gorskog kristala ili ametista ne nalaze se često u prirodi.

„*Od svih minerala koji se koriste kao dragi kamen nijedan se ne može uporediti sa kvarcom po raznovrsnosti pojavljivanja i obiljem varijeteta. Nalazi se u magmatskim, vulkanskim, sedimentnim i metamorfnim stenama, a u nekim stenama je u suštini jedini prisutni mineral. Zbog svoje tvrdine, izostanka cepljivosti i hemijske stabilnosti, kvarc opstaje i zadržava svoj identitet kao šljunak u rečnim nanosima i kao zрно peska na morskim plažama.*“ (Hurlbut & Switzer, 1978)



Za procenu kvaliteta juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa, odnosno za utvrđivanje njihovih tehničko-tehnoloških karakteristika, odlučujuću ulogu ima juvelirska obrada. Tek nakon nje sa sigurnošću možemo govoriti da je mineralna sirovina juvelirskog karaktera, odnosno da može imati primenu u juvelirstvu. Dva osnovna kriterijuma za definisanje juvelirske mineralne sirovine, lepota i postojanost, se najbolje utvrđuju upravo nakon juvelirske obrade.

Danas su u upotrebi tri osnovna vida juvelirske obrade plemenitih minerala: izrada kabošona (obrada *en cabochon*), fasetiranje i gliptografija (rezbarenje).

Šuman (*Schumann W.*, 2011) takođe, izdvaja tri osnovna vida juvelirske obrade: obrada fasetiranjem (eng. *faceted cut*), obična (jednostavna) obrada (eng. *plain cut*) i mešovita obrada (eng. *mixed cut*).

Obrada fasetiranjem podrazumeva izradu većeg broja pljosnica, odnosno faseta, na providnom, kristalizovanom plemenitom mineralu. Zadatak ovakve obrade je da svetlosne zrake koji ulaze u unutrašnjost tako obrađenog dragog kamena više puta prelomi odbijajući se od brojnih pljosnica pre nego što stigne do oka posmatrača. Na takav način dolaze do izražaja svetlosni efekti koji povećavaju lepotu dragog kamena. Ovakav tip obrade primeren je prvenstveno providnim varijetetima juvelirskog kamena.

Šuman (*Schumann W.*, 2011) pod jednostavnom obradom podrazumeva obradu zaobljavanjem, kao i izradu ravnih ispoliranih površina. Po njemu jednostavna obrada podrazumeva kontinuirane, ispolirane (ravne ili zaobljene) površine koje nisu poremećene pljosnicama (fasetama). Ovakvom obradom dobijaju se zaobljene forme najčešće u vidu kabošona, a zatim, sferoidnih oblika, kao i ravne površine npr. u vidu raznih pločica (čest slučaj obrade ahata). Jednostavna obrada zaobljavanjem primerena je neprovidnom i prozračnom plemenitom kamenju, ali i plemenitom kamenju koje poseduje određene optičke efekte igre svetlosti (šatojancija, asterizam).

Šumanova jednostavna obrada u najvećoj meri podrazumeva obradu *en cabochon* (franc.). Ova obrada podrazumeva drago kamenje koje je obrađeno u vidu konveksne zaobljene površine. Pozadina kabošona može biti ravna, ispupčena ili šuplja, u zavisnosti od karakteristika mineralne sirovine (boja, prozračnost...). Najčešći kabošonski oblici su ovalni i okrugli, ali mogu biti i raznih drugih pravilnih geometrijskih oblika, kao i potpuno slobodne forme („*free form cabochons*“). Postoje i prelazni oblici juvelirske obrade (po Šumanu „*mixed cut*“) gde se mogu kombinovati obrada fasetiranjem i *en cabochon*.

Čest vid obrade plemenitih minerala je gliptografija, odnosno rezbarenje ili graviranje dragog kamena. Ovaj tip obrade podrazumeva izradu gema kao i malih umetničkih predmeta, npr. raznih figurica i slično. Geme obuhvataju intalje, kod kojih je lik urezan u kamen, i kameje, kod kojih je lik izrezan u kamenu.

Izrada juvelirskih proizvoda podrazumeva više različitih tehničkih postupaka, koji se, u manjoj ili većoj meri, javljaju kod svih tipova obrade. Ti postupci, korišćeni su i prilikom obrade juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa; u njih se ubrajaju: sečenje, brušenje, fino brušenje i poliranje.

Sečenje je za potebe utvđivanja tehničko-tehnoloških svojstava juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa izvršeno testerom Lortone TS-8 sa dijamantskim sečivom promera 20cm.

Brušenje je vršeno u više faza, najpre grubim, a zatim sve sitnijim abrazivom. Kod grubog brušenja korišćena su zrna silicijum karbida i dijamanta krupnoće od 60 meša /400 mikrona/do ili 100 meša (150 mikrona). Fino brušenje je izvedeno u nekoliko koraka, koristeći sve sitnije abrazive – 220 meša (90 mikrona), 600 meša (30 mikrona) i 1200 meša /15 mikrona/. Grubo i fino brušenje izvršeno je u laboratoriji Rudarsko-geološkog fakulteta, na mašini koja u svim bitnim karakteristikama odgovara mašini Lortone Beaver-6. Pri obradi su korišćeni originalni 6-inčni dijamantski metalni brusevi i dijamantske trake na ekspanzirajućim tocilima.

Poliranje je izvršeno u više faza: od faze pretpoliranja sa abrazivima krupnoće 3000 meša, do glavne faze poliranja dijamantskim prahom granulacije – 14000 meša (1 mikron) i 50.000 meša (0,5 mikrona). Korišćen je i cerijum oksid krupnoće 50.000 meša (0,5 mikrona).

Fasetiranje je izvršeno na mašini Ming Xing LZM-2E (Hong Kong). Primenjeni su kombinovana obrada (mixed cut), kao i brušenje i poliranje ravnih površina uzoraka u cilju pripreme uzoraka za refraktometriju. Obrada je izvršena pomoću diskova sa impregniranim dijamantima granulacija istih kao i kod mašine tipa Lortone Beaver-6.

Na prethodno opisani način, obrađeni su uzorci juvelirskih mineralnih sirovina sa svih nalazišta leckog vulkanskog kompleksa i pojedinih izdanaka. Obim obrađenih uzoraka sa pojedinačnih nalazišta bio je različit, u funkciji broja detektovanih varijeteta juvelirskog kamena

Rezultati juvelirske obrade bili su od velikog značaja za prognoznu ocenu mineralne potencijalnosti juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa. Na osnovu rezultata detaljne analize tehničko-tehnoloških svojstava mineralne sirovine, formirana je lista nalazišta (ležišta i pojava) juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa prema stepenu mogućnosti njihove primene i dobijanja komercijalnih proizvoda. Zahvaljujući prethodnom, pojedini izdanci silicijskih minerala, koji su na osnovu rezultata prethodnih geoloških istraživanja bili tretirani kao nalazišta juvelirskog kamena, zbog negativne ocene kvaliteta juvelirske obrade, svrstani su u indikacije rudonosti (Čvorovići). U svim ostalim nalazištima koja su prikazana u disertaciji, juvelirska mineralna sirovina je, na bazi juvelirske obrade, dobila pozitivnu ocenu.

Sa druge strane, na osnovu detaljne analize dobijenih proizvoda, utvrđeno je da je juvelirska mineralna sirovina leckog kompleksa najpodesnija za kabošonsku obradu. Moguće je izrađivati najraznovrsnije oblike kabošonskih formi, od standardnih (ovalnih, okruglih, pravougaonih, pendelok, markiz itd.) do najraznovrsnijih slobodnih formi odnosno „free form“ kabošona. Na slikama (85, 86 i 87) prikazani su raznovrsni vidovi obrade *en cabochon*. Osim kabošonske obrade, juvelirska mineralna sirovina leckog vulkanskog kompleksa podesna je i za obradu rezbarenjem, odnosno gliptografiju. Sprovođenje ovog vida obrade nije bilo neophodno budući da je dobro poznata mogućnost upotrebe ovog tipa juvelirske mineralne sirovine za pomenuti vid obrade, a njen kvalitet je potvrđen kabošonskom obradom.

Prikladnim se može smatrati i prelazni vid obrade između *en cabochon* i obrade fasetiranjem (po Šumanu *mixed cut*). Rezultati te obrade su prikazani na slikama 85c i 86h.

Iako, za sada, na realizovanom stepenu istraženosti ne možemo govoriti o mogućnosti primene juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa za dobijanje fasetiranog dragog kamenja, tu mogućnost ne možemo u potpunosti odbaciti. Razlog za ovakvu pretpostavku je prisustvo varijeteta kvarca – ametista i gorskog kristala. Ametist, posebno u ležištu Rasovača, se nalazi u dovoljnim količinama, ali je njegov kvalitet nepodesan za fasetiranje budući da se u najvećoj meri radi o međusobno sraslim kristalima kvarca. Međutim, pošto se eksploatacija ove mineralne sirovine ne vrši, ne možemo doneti konačnu procenu njihovog kvaliteta. Pojedini uzorci ametista koje smo prikupili tokom terenskih istraživanja bili su na granici kvaliteta za fasetiranje.

Gorski kristal je drugi varijetet kvarca koji bi se mogao obrađivati fasetiranjem. Utvrđen je u nalazištu Mehane II i u mehaničkom oreolu rasejavanja u blizini nalazišta Ždraljevići. U nalazištu Mehane II utvrđeni su providni kristali kvarca bez optičkih defekata koji su po dimenzijama bili na donjoj granici podesnosti za fasetiranje. Od uzoraka u pomenutom mehaničkom oreolu rasejavanja utvrđen je samo jedan, dovoljno kvalitetan i velik uzorak kvarca. Naravno, sa daljim istraživanjima se može očekivati da budu otkrivene količine juvelirske kvarcne mineralne sirovine odgovarajućeg kvaliteta za fasetiranje.

Pored juvelirske obrade kamena, u cilju potpune procene kvaliteta, izvršena je i izrada nakita od obrađenih uzoraka juvelirske mineralne sirovine leckog vulkanskog kompleksa. Izrada nakita je izvršena korišćenjem klasičnih metoda ručne umetničke obrade plemenitih metala - korišćeno je srebro čistoće 0.925 (sterling srebro) koje se standardno koristi pri izradi nakita.

Rezultati juvelirske obrade i izrade nakita od juvelirske mineralne sirovine leckog vulkanskog kompleksa prikazani su na narednim stranama (slike 85, 86, 87, 88 i 89). Na slikama je dat skraćeni pregled izabranih rezultata obrade kamena i izrade nakita.



Slika 85. – Rezultati obrade juvelirskih mineralnih sirovina leckog vukanskog kompleksa I: a) „slikoviti jaspis („free form“ kabošon, 40x33mm, Kameno Rebro); b) ahat (markiz kabošon, 37x13mm, Mehane II); c) kalcedon-jaspis („fasetirani kabošon“, 35x30mm, Vrtače); d) ahat (izduženi ovalni kabošon, 36x20mm, Mehane II); e) crni kalcedon (ovalni kabošon, 25x14mm, Velika Kosanica); f) jaspis-kalcedon (ovalni kabošon, 30x22mm, Vrtače); g) ametist („free form“ kabošon, 40x32mm, Rasovača); h) plavičasti kalcedon (ovalni kabošon, 26x15mm, Put za Vlasovo); i) kalcedon – sard (ovalni kabošon, 25x14mm, Svinjarički potok); j) ahat („free form“ kabošon, 33x26, Mehane II); k) ametist-ahat (ovalni kabošon, 30x22, Rasovača); l) slikoviti jaspis (ovalni kabošon, 25x18mm, Pusto Šilovo).



Slika 86. — Rezultati obrade juvelirskih mineralnih sirovina leckog vukanskog kompleksa II: a) crveni jaspis (ovalni kabošon, 30x22mm, Kameno Rebro); b) jaspis („free form“ kabošon, 40x30mm, Vrtače); c) jaspis-ahat (ovalni kabošon, 30x22mm, Bučumet); d) plavi kalcedon (izduženi ovalni kabošon, 18x8mm, Vrtače); e) karneol (ovalni kabošon, 26x16mm, Kameno rebro); f) ahat („free form“ kabošon, 38x20mm, Mehane II); g) jaspis-kalcedon (ovalni kabošon, 30x22mm, Vrtače); h) crni kalcedon (izduženi ovalni fasetirani kabošon, 36x20mm, Velika Kosanica); i) crveni mahovinasti jaspis (ovalni kabošon, 40x30mm, Vrtače); j) ahat (ovalni kabošon, 40x30mm, Mehane II); k) crni fosilizovani kalcedon (ovalni kabošon, 40x30, Kosanica); l) ahat-jaspis (pendelok kabošon, 35x18mm, Velika Kosanica).



Slika 87. – Rezultati obrade juvelirskih mineralnih sirovina leckog vukanskog kompleksa III: a) jaspis (markiz ovalni kabošon, 37x16mm, Kameno Rebro); b) ametist (kabošon u obliku srca „heart shaped cabochon“, 32x32mm, Rasovača); c) jaspis (pendelok kabošon, 32x15mm, Vrtače); d) jaspis („free form“ kabošon, 40x40mm, Caričin grad); e) jaspis (trouglasti kabošon, 29x24mm, Vrtače); f) pejzažni jaspis (okrugli kabošon, 38mm, Caričin grad); g) kalcedon (pendelok kabošon, 36x16mm, Mehane I); h) mahovinasti jaspis-kalcedon (zasečeni trapezoidni kabošon, 32x23mm, Kameno rebro), i) silifikovani andezit (pravougaoni baget kabošon, 29x22mm, Mehane I); j) ametist (ovalni kabošon, 30x22mm, Rasovača); k) karneol (ovalni kabošon, 26x16, Kameno rebro); l) ahat (markiz kabošon, 37x13mm, Mehane II).



Slika 88. – Rezultati izrade nakita od juvelirskih mineralnih sirovina leckog vukanskog kompleksa I: a) tri priveska od ametista (Rasovača) u sterling srebru; b) privezak sa japisom (centralni kamen – Sveti Petar) sa madagaskarskim zelenim opalom i mađarskim vatrenim opalom; c) privezak od kalcedona (Vrtače); d) komplet – miđuše i prsten od crnog kalcedona (Velika Kosanica) u sterling srebru; e) komplet – privezak, miđuše i prsten od crnog kalcedona (Velka Kosanica) sa rubinom; f) privezak od crnog kalcedona (Velika Kosanica) sa rubinom u sterling srebru; g) privezak od crnog kalcedona (Kosanica) u sterling srebru; h) privezak sa intarzijom crnog kalcedona (Kosanica) i zlatiborskog kahalong opala u sterling srebru; i) miđuše od crnog kalcedona (Kosanica) u sterling srebru; j) privezak od jaspisa (Bučumet) u sterling srebru; k) privezak od ahata (Rasovača); l) prsten od crnog kalcedona u sterling srebru.





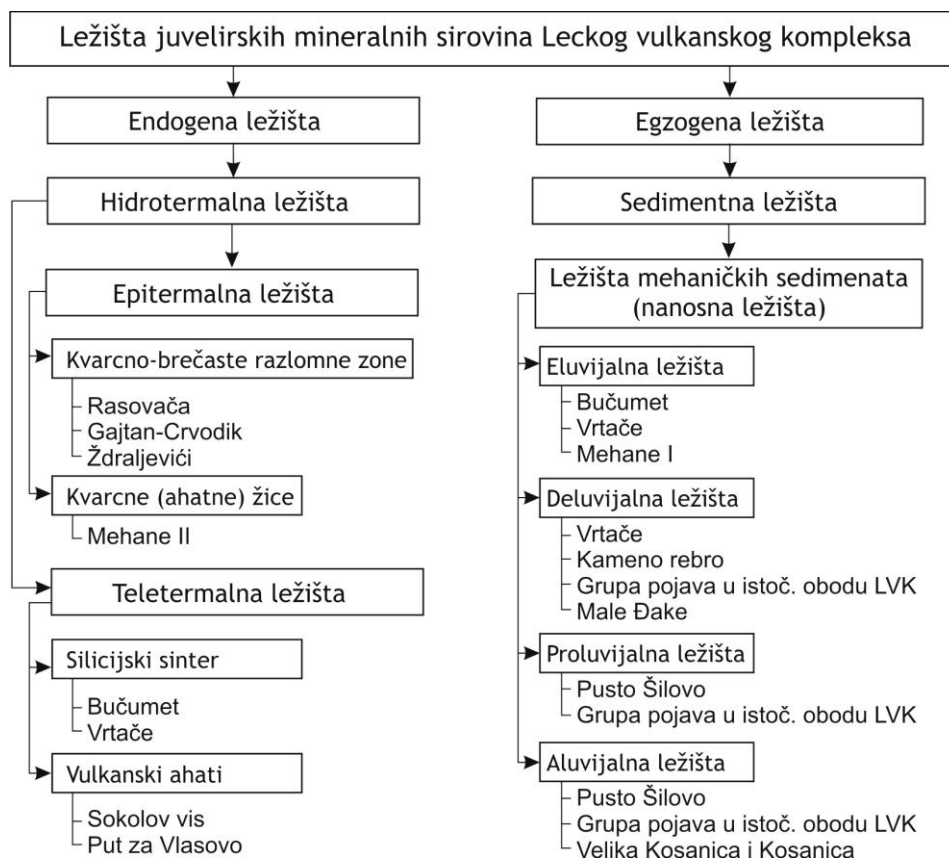
Slika 89. – Rezultati izrade nakita od juvelirskih mineralnih sirovina leckog vukanskog kompleksa I: a) privezak od kalcedona (Vrtače); b) privezak od jaspisa (Kameno rebro) u patiniranom sterling srebru; c) privezak od ahata (Put za Vlasovo) u sterling srebru; d) komplet – minduše i privezak od jaspisa (Vrtače) u sterling srebru; e) privezak od crvenog mahovnatog jaspisa (Bučumet); f) privezak od jaspisa (Velika Kosanica) i hrizoprasa (Kosovo) u sterling srebru; g) privezak od crnog kalcedona (Caričina) u sterling srebru; h) privezak od jaspisa (Sveti Petar) u sterling srebru; i) privezak od ahata (Rasovača); j) komplet – privezak i minduše od crvenog jaspisa (Caričin grad); k) privezak od kalcedona (Vrtače).

## 9. GENEZA NALAZIŠTA JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Sva primarna nalazišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa pripadaju grupi hidrotermalnih ležišta i pojava mineralnih sirovina, odnosno klasi ležišta koja su vezana za vulkanogeno-intruzivne magmatske komplekse (vulkanogena ležišta). Prema uslovima stvaranja mogu da se izdvoje dva osnovna podtipa: a) nalazišta koja su nastala u epitermalnom stadijumu i b) nalazišta koja su nastala u teletermalnom stadijumu. Sekundarna nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina stvorena su u procesima fizičko-mehaničkih razaranja primarnih nalazišta, prenosa i deponovanja rudnog materijala. Pripadaju grupi sedimentnih ležišta i pojava mineralnih sirovina, odnosno klasi ležišta mehaničkih sedimenata. Na slici 90 dat je šematski prikaz genetske pripadnosti nalazišta (ležišta i pojava) juvelirskih mineralnih sirovina u tvorevinama leckog vulkanskog kompleksa.

*Киевленко*, (*Киевленко*, 1980) u svojoj genetskoj klasifikaciji ležišta dragocenog i ukrasnog kamena, na sličan način, ležišta ahata, ametista, opala i jaspisa svrstava u endogenu grupu, hidrotermalnu klasu i postvulkanski formacioni tip. U istoj genetskoj klasifikaciji ležišta mermernog oniksa, koja se mogu uporediti sa našim ležištima silicijskog sintera, svrstava u teletermalni formacioni tip.

Vrlo je interesantno pitanje geneze ahata koji ne predstavljaju tipične hidrotermalne žične ahate. *Götze* (u *Zenz*, 2011) i *Moxon* (2009) izdvajaju 3 grupe ahata: vulkanske ahate, žične ahate i ahate u sedimentnim sredinama. Ahati u sedimentnim sredinama ne predstavljaju sekundarni nanosni tip ležišta (ležišta mehaničkih sedimenata), već ahate koji su formirani direktno u sedimentno-dijagenetskim uslovima, u sedimentnim stenama. Tako na primer, u raznim sedimentnim stenama, često krečnjacima (npr. Fairburn ahata, Južna Dakota, SAD, *Moxon T., Reed J.B.S.*, 2006), ahati nastaju silifikacijom konkrecija ili putem pseudomorfizma koji je izazvan zamenom rastvorljivih mineralnih vrsta kao što su sulfati i karbonati.



Slika 90. Genetska klasifikacija nalazišta (ležišta i pojava) juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa

Ahati u sedimentnim sredinama su ipak znatno ređi u odnosu na ahate koji se nalaze u vulkanskim stenama tipa bazalta, andezita, riolita i riodacita. U takvim sredinama su poznati kako tipični hidrotermalni ahati, tako i vulkanski ahati. Hidrotermalni ahati često sadrže specifičnu asocijaciju minerala, na pr., određene metalne rudne minerale, zatim, barit, fluorit i kalcit. Vulkanski ahati najčešće zapunjavaju slobodne prostore u vulkanitima, koji su nastali tokom njihovog stvaranja, najčešće kao posledica gubitka gasova iz lave. Takođe, mogu da zapunjavaju i nepravilne pukotine u već očvrstloj lavi koje su formirane tokom hlađenja i solidifikacije vulkanske stene. Zapravo, vulkanski ahati nastaju tokom naknadnih procesa u vulkanskim stenama, na niskim temperaturama.

Forma ahatnih nodula se razlikuje u zavisnosti od toga da li se nalaze u bazičnim ili kiselim vulkanskim stenama. U bazičnim vulkanskim stenama ahatne nodule su elipsoidnog ili kruškastog oblika sa relativno oblom površinom i često se nazivaju amigdalama, dok se u kiselim vulkanitima ahatne nodule nalaze u nepravilnijim oštrijim oblicima, koji se nazivaju litofizama (popularno „thunder egg“). Među najpoznatije vulkanske ahate spadaju brazilski ahati, koji se formiraju u bazaltima.

Pitanje geneze vulkanskih ahata još uvek nije dovoljno razjašnjeno. „*Poreklo vulkanskih ahata ostaje enigma, i problemi neće biti rešeni dok se ahati ne dobiju u laboratorijskim uslovima...*“ (Moxon, 2009).

Vulkanski ahati, na osnovu podataka dosadašnjih terenskih istraživanja, nisu značajnije zastupljeni na prostoru leckog vulkanskog kompleksa. Na primeru dva nalazišta, Sokolov vis prvenstveno i Put za Vlasovo možemo govoriti o verovatnom pojavljivanju ahata/kalcedona ovog tipa. O njima će biti reči u narednim razmatranjima geneze juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa.

## 9.1. HIDROTERMALNA LEŽIŠTA JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Tercijarni kalko-alkalni intermedijarni vulkanizam, uz odgovarajuću tektonsku predispoziciju terena, omogućio je stvaranje i kretanje hidrotermalnih rastvora, iz kojih su stvorena ležišta i pojave juvelirskih mineralnih sirovina silicijskog mineralnog sastava. Pomenuti hidrotermalni rastvori bili su nosioci ne samo silicijskih minerala/juvelirske mineralne sirovine, već i metalčnih rudnih komponenata - pre svega Pb i Zn a u određenoj meri i Ag i Au.

U hidrotermalna ležišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa uvrstili smo, prema temperaturi njihovog stvaranja, tzv. epitermalna i teletermalna ležišta. Rukovodeći princip prilikom njihovog izdvajanja bila je temperaturna granica stvaranja minerala od 100°C. Sa druge strane, teletermalna ležišta juvelirskog kamena su stvarana u površinskim uslovima terena (vulkanski ahati), odnosno, kao posledica izlivanja hidrotermalnih rastvora na površinu terena, u bilo subaeralnim ili subakvatskim uslovima (plitkim i malim vodenim bazenima) – (silicijski sinter).

### 9.1.1. Epitermalna hidrotermalna ležišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa

Epitermalna hidrotermalna ležišta juvelirskog kamena, prvenstveno ahata, ali i ametista i jaspisa, formirana su tokom hidrotermalnih procesa iz toplih vodenih rastvora.

Među epitermalna hidrotermalna ležišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa ubrojali smo dva formaciona tipa: kvarcno-brečaste zone i kvarcne (ahatne) žice. Razlika između njih ogleda se u stepenu tektonske aktivnosti koja je dovela do stvaranja jako izraženih brečastih zona u prvom slučaju (Rasovača, Gaj-Lazine, Ždraljevići) i tipičnih žičnih rudnih tela kod kojih nije jako izraženo naknadno razlamanje već dolazi do formiranih relativno neporemećenih žičnih rudnih tela (Mehane II).

U nalazištu Mehane II jasno je izražena granica između ahatnih žica i matične stenske mase. Kod nalazišta vezanih za kvarcno-brečaste zone, odlomci juvelirskog kamena su često, zajedno sa odlomcima andezita odnosno andezitskih piroklastita, cementirani novim prinosima silicije.

Hidrotermalna ležišta juvelirskog kamena se u vidu rifova ističu u reljefu, markirajući glavne razlomne strukture pružanja SZ-JI do I-Z, što je posebno karakteristično za ležište Rasovača. Nakon glavne faze konsolidacije vulkanske aktivnosti, pod dejstvom tektonskih pokreta, došlo je stvaranja brojnih razlomnih sistema od kojih su pojedine pružanja i do više kilometara. Duž tih dubokih razlomnih zona, u fazi smirivanja vulkanske aktivnosti i u postvulkanskom stadijumu, došlo je do stvaranja hidrotermalnih sistema, koji su doveli do formiranja hidrotermalnih ležišta ahata, ametista, jaspisa ali i polimetalčnih orudnjenja. Najzastupljeniji i naznačajniji metalčni rudni minerali koji se nalaze u kvarcno-brečastim zonama (u ležištu Lece) su galenit i sfalerit. Redovno su praćeni piritiom i halkopiritom, a ređe tetraedritom, markasitom, samorodnim zlatom, sideritom i dr. Na osnovu sadržaja gvožđa u sfaleritima *Šimić i Radulović* (2005) formiranje polimetalčne mineralizacije vezuju za epitermalni stadijum odnosno temperature ispod 150°C.

Nakon prve faze deponovanja iz hidrotermalnih rastvora (silicijskih minerala i polimetalčnog orudnjenja), naknadnim i višestrukim tektonskim pokretima dolazi do njihovog razaranja i ponovnog cementovanja novim prinosom silicije. Osim tektonske aktivnosti, postoji mogućnost da je do brečizacije dolazilo i usled hidrotermalne aktivnosti. U slučaju intenzivnog prinosa silicije, otvoreni prostori mogu biti u potpunosti zapunjeni

silicijom. Nastavljanje kontinuirane hidrotermalne aktivnosti, dovodi do povećanja pritiska u dubljim nivoima. Ukoliko se postigne dovoljno visok pritisak, dolazi do razaranja prethodno formiranih struktura. Ti novi otvoreni prostori bivaju zapunjeni novom generacijom silicije iz hidrotermalnih rastvora i dolazi do formiranja hidrotermalnih breča (Götze u Zenz, 2011).

Prinos silicije u svim nalazištima hidrotermalnog-epiteramnog tipa dešavao se u više faza u kvarcnim (ahatnim) žicama, a posebno u kvarcno-brečastim zonama (prvenstveno u ležištu Rasovača). U pojedinim slučajevima, dolazilo je do intermitentne tektonske aktivnosti, a ponekad samo do višestrukog prekidanja i obnavljanja hidrotermalne aktivnosti.

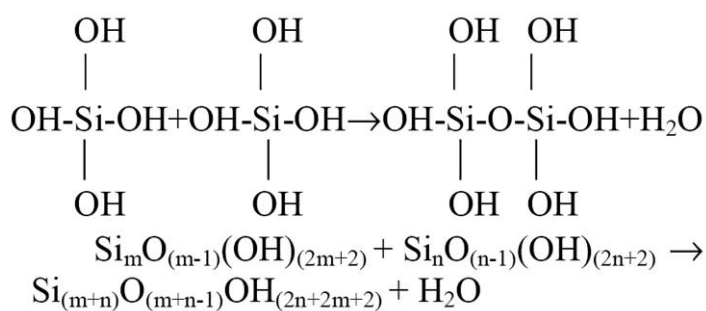
Voda u hidrotermalnim rastvorima najverovatnije je mešovito magmatogenog i meteorskog porekla. U obrazovanju fluida učestvuju juvenilni ascendentni rastvori i zagrejana konvekcijska cirkulišuća meteorska voda. Do konvekcijskih strujanja hidrotermalnih rastvora dolazi pod uticajem toplotne energije, koju su obezbedila dublje ležeća magmatska ognjišta.

Poreklo silicije, koja je hidrotermalnim rastvorima deponovana u razlomnim strukturama, verovatno treba tražiti u stenama andezitskog vulkanskog kompleksa i u zaostalom magmatskom rastopu. Najverovatnije da su najveće količine silicije, dejstvom zagrejanih vodenih rastvora, izluživane iz stena vulkanskog kompleksa, a možda jednim delom, i iz stenskih kompleksa koji se nalaze u podlozi vulkanskog kompleksa npr. serpentinita. Iz serpentinita su moguće izlužene i povišene koncentracije Cu, na koje se nailazi u pojedinim hidrotermalnim žicama.

Mikrostrukture kalcedona, a posebno sferulitska kristalizacija kalcedonskih agregata, su indikator da se silicija deponuje u vidu kolodalnih rastvora, odnosno silicijskog gela.

Transport silicije u hidrotermalnim rastvorima odvija se u vidu silicijske kiseline  $\text{Si(OH)}_4$ . Prema Potapovu i dr. (Potapov *et al.*, 2004), koloidalna silicija se formira u hidrotermalnim rastvorima u nekoliko faza. Najpre, silicijum ulazi u rastvor u vidu molekula silicijske kiseline kao rezultat hemijske interakcije vode sa alumosilikatnim mineralima iz okolnih stena. Proces se dešava na dubinama od 1-3,5 km, u zonama termalnih anomalija, na povišenim temperaturama od oko 250-350°C i pritiscima od 4-20 MPa. Ovakvi hidrotermalni rastvori predstavljaju multikomponentni sistem u kome su prisutni Na, K, Si, Ca, Mg, Al, Fe, Cl, S, C, B, Li, As, Cu, Zn, Ag, Au i druga jedinjenja u

jonskoj i molekularnoj formi. Tokom ascendentnog kretanja, duž razloma i kroz porozne stenske mase, pritisak i temperatura rastvora opadaju i rastvor se deli na likvidnu i gasnu fazu. Ukupan sadržaj silicije u tečnoj fazi može dostići nivo od 700-1500mg/kg. Zbog toga vodeni rastvor postaje prezasićen u pogledu rastvorljivosti amorfne silicije. Stanje u kojoj se silicija nalazi u vodenom rastvoru u vidu monomerne silicijske kiseline je nestabilno. Prezasićenost rastvora jednaka je razlici koncentracije monomerne silicijske kiseline i rastvorljivosti amorfne silicije. Ta razlika predstavlja pokretačku snagu za procese nukleacije i polimerizacije molekula silicijske kiseline, putem kondenzacije silanol grupa, formiranjem siloksan veza i parcijalnom dehidratacijom i prikazana je sledećom reakcijom:



(po Iler-u iz Potapov et al., 2004):

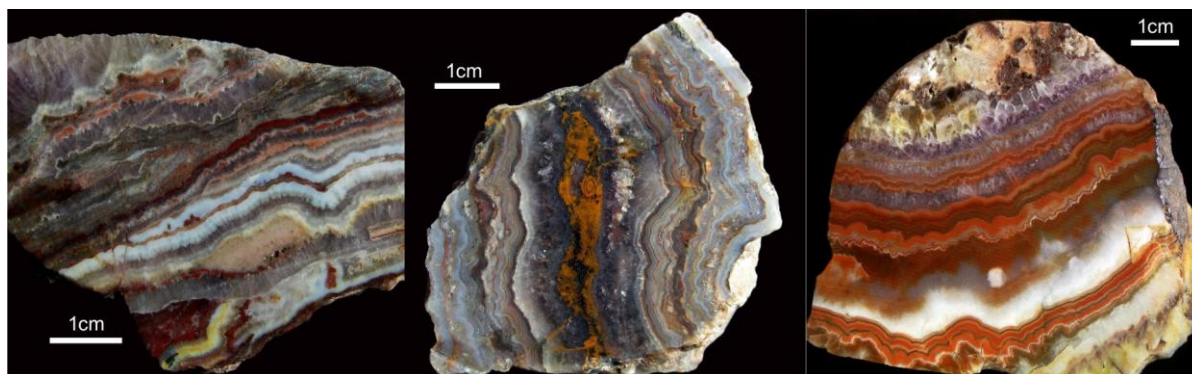
I prema Fournier-u (Fournier, 1985) preduslov za deponovanje silicijskih minerala iz ovakvih rastvora je prezasićenost silicijom. Bilo koji proces koji dovodi do promene uslova koji vladaju u hidrotermalnom rastvoru može dovesti do precipitacije formirajući često trakaste i krustifikacione primarne strukture. Takvi procesi su pad temperature, mešanje dva ili više fluida, reakcije između fluida i okolnih stena, ili ključanje rastvora zbog naglog pada pritiska. Stvaranje složenih trakastih teksturnih formi može biti posledica povremenog pada pritiska i sa time povezanim gubitkom gasova, ključanja rastvora ili promene pH vrednosti. Kao rezultat dolazi do sukcesivne akumulacije/deponovanja silicijskih mineralizacija u vidu traka. Ovaj proces često rezultira u karakterističnoj sukcesiji silicijskih traka od margina ka centru žice, sa velikim pružanjem, koja je jasno izražena u svim hidrotermalnim žičnim i kvarcno-brečastim nalazištima juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa.

U svim epitermalno-hidrotermalnim nalazištima juvelirskog kamena, kvarcno-brečastim zonama i kvarcnim (ahatnim) žicama, uočava se zonarno smenjivanje kalcedona i kvarca (često ametista). To zonarno smenjivanje izostaje u nalazištima Sokolov vis i Put za Vlasovo, gde je dominantan kalcedon a kvarc se pojavljuje u centralnim delovima u kojima su ostale nezapunjene šupljine.

U pomenutim, epitermalnim ležištima uočava se zonarnost koja se karakteriše različitim fazama rasta silicije (smenjivanje kvarca i kalcedona), a markirana je različitim bojama minerala. Prisutne su tzv. češljaste strukture koje su karakteristične za hidrotermalne uslove.

Jedno od objašnjenja za naizmenično smenjivanje kalcedona i idealnog kvarca daje *Heaney* (1993). Ukoliko se pretpostavi da se kvarc i kalcedon deponuju iz rastvora čiji pritisak i temperatura ne variraju značajno, onda je verovatno hemizam rastvora taj koji određuje koji će se silicijski varijetet formirati iz matičnog fluida. Budući da je kalcedon rastvorljiviji od kvarca, a kristobalit i amorfna silicija imaju veću rastvorljivost od kalcedona, očekivano je da rastvori iz kojih se deponuje kalcedon imaju višu koncentraciju silicije nego oni iz kojih se deponuje idealni kvarc i niže koncentracije od rastvora iz kojih se deponuje kristobalit.

U sličnim žičnim hidrotermalnim ležištima ahata u dva nalazišta u Nemačkoj – Schlottwitz i Halsbach, blizu Freiberg-a izvršena su izotopska ispitivanja kiseonika (*Götze et al.*, 2001). U nalazištu Schlottwitz utvrđena je temperatura formiranja ahata od 60-85°C. U Schlottwitz ahatima nema karakteristične zonarnosti, kakva je karakteristična za ahate iz naših nalazišta Rasovača i Mehane II, dok je ona javlja u ahatima iz nalazišta Halsbach. Halsbach ahati imaju sličan makroskopski izgled sa leckim ahatima iz Rasovače i Mehana II. U ležištu Halsbach je utvrđena temperatura stvaranja od 120-130°C. Te temperature formiranja ahatnih žica se podudaraju sa temperaturama stvaranja hidrotermalnih rudnih tela (takođe 120-130°C) u polimetalničnom ležištu Lece, koje su određene na osnovu sadržaja gvožđa (1,97%) u sfaleritima (*Simić i Radulović*, 2005).



Slika 91. – Upoređenje uzoraka ahata sa zonarnom strukturom u kojima se smenjuju zone kalcedona i kvarca (ametista) iz nalazišta (s leva na desno) Rasovača, Mehane II i Halsbach u Nemačkoj (iz *Zenz*, 2011).



U nalazištu Ždraljevići prisutna zonarnost se razlikuje u odnosu na ahate iz Rasovača i Mehana II, utoliko što je veća prisutnost kvarca (različite krupnoće zrna), dok se kalcedon javlja retko. Na osnovu toga pretpostavljamo da se nalazište Ždraljevići formiralo na nešto višim temperaturama.

Tabela 9. – Uporedna analiza elemenata u tragovima (u ppm) u hidrotermalnim žičnim ahatima iz Halsbach-a, Nemačka (iz Zenz, 2011) i u leckom vulkanskom kompleksu iz nalazišta Rasovača i Mehane.

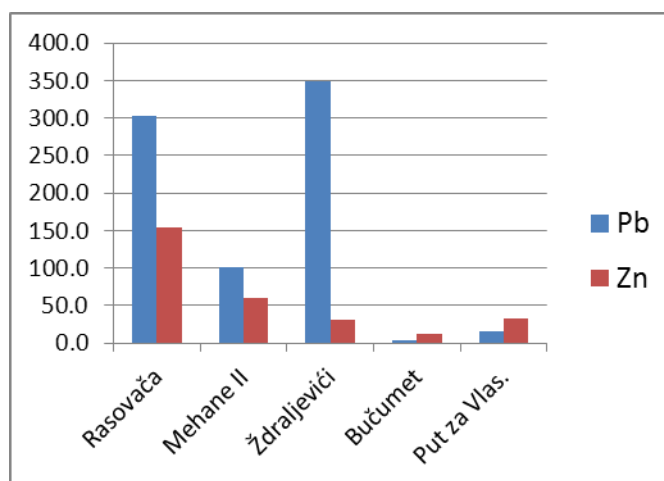
element	Halsbach*	Halsbach**	Rasovača	Mehane II
Al	>1200	348.0	24600.0	900.0
Ti	6.6	5.1	970.0	40.0
Fe	389.0	1840.0	19700.0	5100.0
Mn	17.0	8.0	186.0	801.0
Ca	347.0	18.0	1100.0	300.0
Ba	130.0	90.0	334.0	4006.0
Na	350.0	140.0	750.0	90.0
Cu	24.0	16.0	62.0	8.2
Cr	<0.5	<0.5	8.0	3.0
Co	1.1	1.0	41.4	132.0
As	2.0	10.0	111.0	358.0
Sb	3.0	20.0	165.0	322.1
U	0.6	15.0	1.7	1.1

\* – beli ahat, \* – crveni ahat

Hemijski sastav juvelirskog kamena kalcedona/ahata vrlo je značajan, iako bi, teoretski gledano, kalcedon trebalo da predstavlja čist SiO<sub>2</sub>. Tragovi drugih elemenata su često inkorporirani u kalcedonu. Te niske koncentracije elemenata u tragovima mogu dati važne podatke o poreklu fluida iz kojih je juvelirski kamen nastao. Upoređujući sadržaje elemenata u tragovima iz naša dva ležišta ahata Rasovača i Mehane II sa ahatima iz ležišta Halsbach u Nemačkoj, uočavaju se povišene koncentracije Cu, Co, Sb, As koje ukazuju na njihovu genetsku povezanost sa hidrotermalnim ležištima metaličnih mineralnih sirovina. Takođe, povišeni sadržaj Ba je tipičan za hidrotermalne procese. Zanimljivo je da je stepen koncentracije u ahatima iz leckog vulkanskog kompleksa najčešće znatno veći nego što je to slučaj sa Halsbach ahatima. Ovo, najverovatnije ukazuje na zone razlamanja veće dubine i značajnijih razmera.

Vrlo su interesantne i vrednosti Pb i Zn juvelirskog kamena (kalcedona/ahata, kvarca i jaspisa) dobijene ICP-MS analizom koje su prikazane u narednom grafikonu (sl.

92). U niskotemperaturnim hidrotermalnim ležištima Pb i Zn prisutna je vertikalna zonalnost u prostornom razmeštaju asocijacije elemenata (Pb i Zn). U dubljim delovima terena, bliže magmatskom ognjištu dominiraju minerali cinka, a bliže površini terena minerali olova (Jelenković, 1999). Na slici 92 uočava se da je u epitermalnim hidrotermalnim nalazištima juvelirskog kamena Rasovača, Mehane II i Ždraljevići sadržaj Pb viši u odnosu na Zn. Ovo nam ukazuje da su ova nalazišta vezana za duboke razlomne zone. U tim razlomnim zonama su, u dubljim nivoima, deponovane više koncentracije Zn u odnosu na Pb, dok su rudna tela juvelirskog kamena silicijskog sastava deponovana u gornjim/pripovršinskim delovima razlomnih zona/žica te imaju odnos u kojem Pb dominira nad Zn.



Slika 92. – Sadržaji Pb i Zn juvelirskog kamena u hidrotermalnim epitermalnim (Rasovača, Mehane II, Ždraljevići) i teletermalnim ležištima (Bučumet i Put za Vlasovo).

S druge strane, u teletermalnim ležištima vulkanskih ahata (Put za Vlasovo) i silicijskom sinteru (Bučumet), sadržaj Zn je viši od sadržaja Pb. Do ovoga najverovatnije dolazi jer su teletermalna ležišta nastala iz hidrotermalnih rastvora koji su formirani i cirkulisali u plićim delovima vulkanskog kompleksa te nije došlo do deponovanja značajnijih količina Pb i Zn u dubljim delovima, zbog čega odražavaju primarni odnos Pb i Zn. Pored toga su koncentracije Pb i Zn niže nego kod epitermalnih ležišta, najverovatnije zbog toga što nisu vezane za duboke razlome većih razmera.

Kod silicijskih sintera termalni vodeni rastvori se izlivaju na površinu terena, dok kod vulkanskih ahata postoji mogućnost da su nastali i iz descendentnih rastvora.

## 9.1.2. Teletermalna hidrotermalna ležišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa

### 9.1.2.1. Vulkanski ahati

Geneza vulkanskih ahata, kao što smo to već na početku ovog poglavlja pomenuto, još uvek nije razjašnjena. Jedno od najznačajnijih otvorenih pitanja je izvor silicije koja se deponuje u šupljinama u vulkanskim stenama (amigdale i litofize) i manjim pukotinskim sistemima. Moguće izvore silicije mogu da predstavljaju same vulkanske stene, vulkanski pepeo, vulkansko staklo, hidrotermalni rastvori i termalni izvori, kao i kasno-magmaski rastopi. U savremenoj geološkoj literaturi koja je posvećena ovom pitanju, postoje dve grupe dominantnih hipoteza. Prvu grupu predstavljaju hipoteze po kojima je silicija mobilisana hidrotermalnim rastvorima iz matičnih vulkanskih ili okolnih stena kao što su opsidijan i vulkanski pepeo a, zatim, deponovana u šupljinama u vulkanskim stenama (gasne kaverne ili pukotine) putem hidrotermalne aktivnosti (Götze, 2001, Moxon 2009). Prema zastupnicima druge grupe hipoteza, silicija koja učestvuje u stvaranju ahata može da predstavlja onaj deo silicije koja je zaostala u matičnoj lavi u vidu grudvi polimerizovane silicije koja sadrži elemente u tragovima i vodu (Wang i Merino, 1995, Bryxina i Sheplev, 1999). Postoje i kombinacije ove dve grupe hipoteza, kao i modifikovana verzije druge grupe, gde se pretpostavlja da vulkanski ahati nastaju na račun ksenolita marinskih rožnaca, neresorbovanih u magmatskom rastopu već su njima nošeni u vidu kaplji iz kojih su kasnije transformisani u ahate (Falick et al., 1985).

Na osnovu analize rezultata istraživanja koja su izvršena tokom izrade ove disertacije, pre svega rezultata ICP-MS ispitivanja, realno je pretpostaviti da je hidrotermalna hipoteza nastanka vulkanskih ahata leckog vulkanskog kompleksa verovatna.

Vulkanski ahati u nalazištima Put za Vlasovo i Sokolov vis (teletermalna hidrotermalna ležišta) razlikuju se od klasičnih žičnih hidrotermalnih nalazišta te juvelirske sirovine, po obliku rudnih tela i njihovoj veličini. Epitermalna hidrotermalna nalazišta žičnih ahata, bilo kvarcno-brečaste zone (Rasovača) ili pravilna žična rudna tela (Mehane II), vezana su za razlomne zone izraženog longitudinalnog pravca pružanja i značajnog prostiranja po dubini. Debljina žica je i do nekoliko metara.

Vulkanski ahati nisu vezani za tektonske rasedne strukture. Nastaju u površinskim delovima andezitskih stena. Dimenzije ahata su od centimetra (i manje) do par decimetara. Rudna tela su nepravilnih oblika - nodule, nepravilna nagomilanja manjih razmera ili tanke žica koje su zapunile pukotine u vulkanitima. Stepem kristalizacije silicije je niži. Značajno je niža i zastupljenost makrokristalnog kvarca; kalcedon („length-fast“) dominira, a prisutan je i CT-opal. Sadržaji elemenata u tragovima takođe se razlikuju, kao što je već prikazano u slučaju Pb i Zn.

Topli vodeni rastvori koji su najverovatnije izlužili siliciju iz vulkanskih stena su, verovatno, descendenti hidrotermalni sistemi koji ili potiču od termalnih izvora koji su oticali strmim padinama vulkanskog kompleksa.

Voda u toplim rastvorima je meteorskog porekla. Zagrejana voda u interakciji sa rezidualnim magmatskim fluidima verovatno dovodi do aktivnog izluživanja vulkanita i do nastajanja određenih alteracionih produkata. Izvor silicije su vulkanske stene andezitskog sastava i vulkansko staklo. Pojavljivanje mnoštva crnih silicijskih odlomaka (crni kalcedon) u aluvijalnim nanosima Kosanice i Velike Kosanice, svedoči u prilog postojanju izmenjenog vulkanskog stakla.

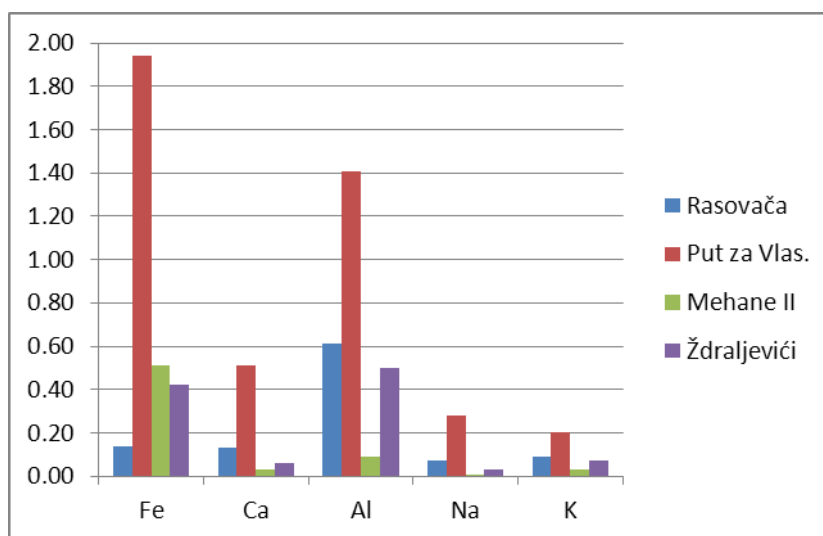
Deo silicije mogao je da vodi poreklo i iz piroksena i feldspata odakle je oslobođen u procesima njihovog raspadanja. Pored oslobađanja silicije, u ovim procesima nastaju mnogi novi minerali iz grupe glina.

Među faktore koji su mogli da značajno potpomognu procese alteracije treba ubrojiti i verovatno jaku emisiju CO<sub>2</sub> usled dugotrajne vulkanske aktivnosti na ovom prostoru. Značajan deo pomenute komponente mogao je atmosferskim padavinama da bude vraćen na zemljinu površinu i da na taj način dodatno utiče na hemijsko raspadanje stena. Uticaj CO<sub>2</sub> se moguće ogleda u sadržaju kalcita u ahatima (nalazište Sokolov vis).

Mogući izvor mobilisanja silicije iz primernih izvora su i alkalna jezera u domenu vulkanskog kompleksa. Vode iz takvih sredina mogla su da utiču na procese hemijskog raspadanja i omogućće oslobađanje velike količine silicije iz primarnih izvora (*Pabian i Zarins, 1994.*).

Kao posledica dekompozicije, odnosno izluživanja silicije iz andezita, u nalazištima juvelirskih mineralnih sirovina često se uočavaju povišene koncentracije Al, Fe, K, Na i Ca (*Götze, 2001*). Povišeni sadržaji pomenutih elemenata su uočeni u nalazištu Put za Vlasovo, a posebno je interesantan njihov povišen sadržaj u odnosu na epitermalne žične ahate

(nalazišta Rasovača, Mehane II, Ždraljevići) što se jasno vidi na sledećem grafikonu (slika 93).



Slika 93. – Sadržaji elemenata Fe, Ca, Al, Na, K (u %) u ahatima iz nalazišta Rasovača, Put za Vlasovo, Mehane II i Ždraljevići koji ukazuju na poreklo silicije iz andezita.

U prilog prethodno iznete tvrdnje svedoči prisustvo glina u kalcedonima/ahatima nalazišta Put za Vlasovo, utvrđeno rendgenskom difrakcijom, kao i pseudomorfoza kalcedona po kalcitu koja se mikroskopskom analizom opaža u vulkanskim ahatima Sokolovog visa.

Proces hemijskog razlaganja vulkanita i oslobađanja silicije na primeru kalijskog feldspata, pri čemu se nastaje ilit, može se prikazati sledećom reakcijom:



(Gigenbach, 1984 iz Zenz, 2011)

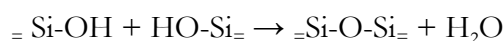
Do oslobađanja Ca i formiranja kalcita može doći i iz Ca-Al-silikata u (proces je kontrolisan fugasnošću CO<sub>2</sub> i visinom temperature) (Gigenbach, 1984 iz Zenz, 2011)

Oksidi i hidroksidi Fe su, takođe, česti u ahatima. Prethodno verovatno predstavlja jednu od posledica kombinovane mobilizacije Fe i SiO<sub>2</sub> tokom alteracije vulkanita. Pojavljivanje jaspisa zajedno sa ahatima je u skladu sa gore pomenutim. Inkorporiranje Fe oksida i hidroksida u kalcedonu prouzrokuje tipičnu crvenu boju jaspisa. Ovakvi jaspisi se javljaju sa vulkanskim ahatima Sokolovog visa i česti u obližnjem nalazištu juvelirskih mineralnih sirovina tipa mehaničkih sedimenata (Đake).

Transport silicije toplim, descendentnim vodenim rastvorima vršio se, najverovatnije, u vidu silicijske kiseline. Može se pretpostaviti da je monomerna silicijska kiselina koja

dominira širokim opsegom pH vrednosti (od 1-9) bila dominantna, jer je polimerna silicijska kiselina stabilna samo iznad pH 10 (Götze u Zenz, 2011). Jedan od mehanizama transporta silicije od mesta primarnih izvora do mesta deponovanja je i prožimanje/natapanje vulkanita difuznom silicijom. Preduslov za ovakav transport monomerne silicijske kiseline je povišen stepen poroznosti i permeabilnosti stenske mase, odnosno postojanje međusobno povezanog sistema mikro i makropora u steni. Takav tip poroznosti i permeabilnosti je karakterističan za andezite i andezitske piroklastite. Kontinualni prinos silicijske kiseline rezultuje akumulacijom silicije i ispunjavanjem slobodnih prostora silicijom. Naknadni kondenzacioni procesi rezultuju formiranjem silicijskog sola i gela iz kojeg dolazi do konačnog deponovanja silicije (Götze u Zenz, 2011). Način pojavljivanja kalcedona/ahata u nalazištima Put za Vlasovo i Sokolov vis podržava ovu pretpostavku.

U procesu kondenzacije monomerne silicijske kiseline dolazi do premošćavanja molekula monomerne silicijske kiseline i formiranja Si-O-Si siloksan veza na sledeći način:



Kao rezultat procesa, dolazi do nastajanja polimerne silicijske kiseline koja se sastoji od 10 Si atoma, povezanih Si-O-Si vezama. Takav polimer silicijske kiseline je stabilan na povišenim temperaturama i u alkalnoj sredini – pH>9 (po Dietzel-u, 2000, Zenz, 2011.) U nastavku polikondenzacije dolazi do nastanka sitnih čestica, sola. Daljim reakcijama čestice postaju veće, formiraju lance i konačno trodimenzionalnu mrežu – gel.

Kristalizacija, odnosno prelaz gela u kriptokristalnu siliciju, vrši se pod uticajem pada temperature i pH faktora usled mešanja fluida, njihovog kontakta sa površinskom vodom i dr. Vrši se na sledeći način: amorfni opal → opal CT → kalcedon → kvarc.

Redgenskom difrakcijom praha u vulkanskim ahatima nalazišta Put za Vlasovo i Sokolovo vis, uočene su manje količine kristobalita i tridimita koje ukazuju na postojanje opala-CT, dok ih u epitermalnim žičnim ahatima nema. Takođe, u vulkanskim ahatima je zastupljenost kvarca mnogo niža i praktično ograničena samo na centralne delove ahata u kojima su ostali slobodni prostori.

Na deponovanje dela silicije u površinskim uslovima ukazuju tragovi mikrobske aktivnosti koji su uočeni u oba nalazišta vulkanskih ahata leckog vulkanskog kompleksa, kao i nalazištu tipa mehaničkih sedimenata Male Đake, u blizini Sokolovog visa.

ICP-MS analizom utvrđeni su povišeni sadržaji W u epitermalnim nalazištima Rasovača i Mehane II, od preko 200ppm što predstavlja gornji detekcioni limit i 192,4 ppm

u nalazištu Ždraljevići. Sa druge strane, u nalazištu Put za Vlasovo sadržaj W (za Sokolov vis nije određen) iznosi samo 0,6ppm. Ovo je još jedan od podataka da koji govori u prilog pretpostavci da su temperature stvaranja vulkanskih ahata bile niže i da pripadaju teletermalnom opsegu ispod 100°C.

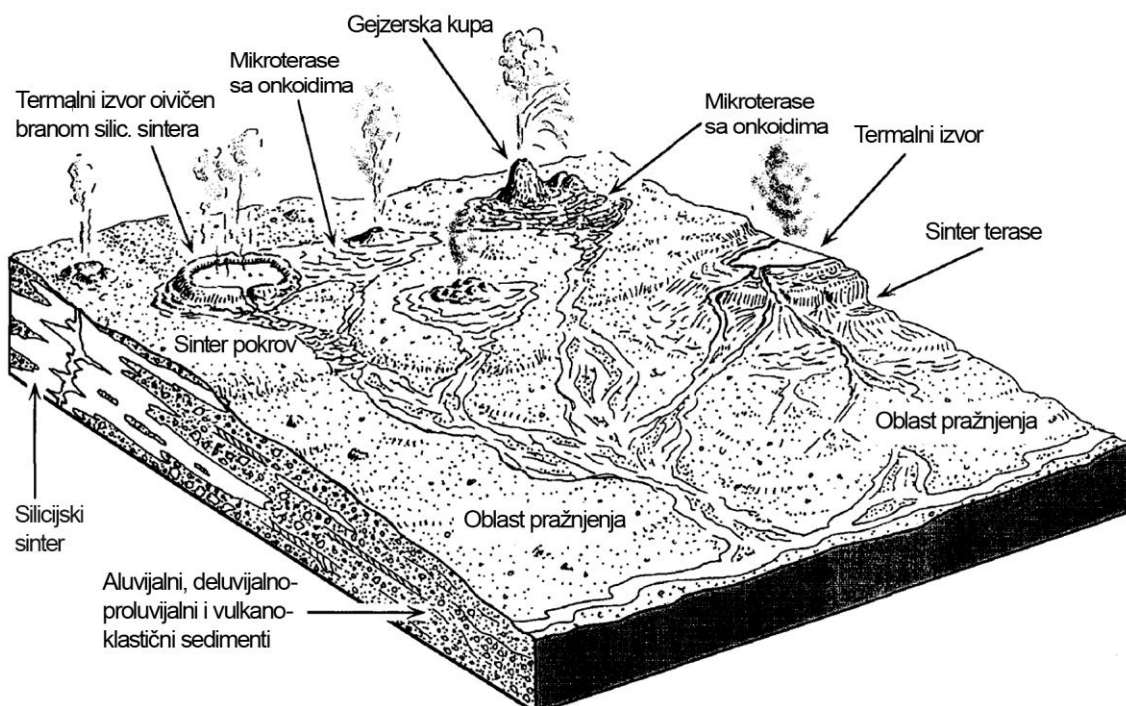
Iako u znatno nižim koncentracijama nego u epitermalnim ležištima, sadržaji As i Sb prisutni su i u nalazištu Put za Vlasovo i Sokolov vis, što takođe ukazuje na dejstvo hidrotermalnih rastvora.

### 9.1.2.2. Silicijski sinter

Nalazišta Bučumet i Vrtače predstavljaju primarna ležišta silicijskog sintera. Silicijski sinter nastaje izlivanjem toplih vodenih rastvora bogatih silicijom u različitim tipovima basena, zatim oko i u dovodnim kanalima hidrotermalnih rastvora, kao i duž izlivnih kanala hidrotermi po padinama terena, gde grade tanke pokrove. Precipitacija silicije iz toplih vodenih rastvora vrši se na temperaturama ispod 100°C (subaeralno ili subakvatski). Ponekad se oko samih dovodnih kanala obrazuju manja jezera, tako da se u određenom smislu može govoriti i o hidrotermalno-sedimentacionom procesu. Termalni izvori mogu biti grubo podeljeni na: 1) zone u blizini dovodnih kanala sa temperaturama >60°C; 2) srednje udaljenu padinsku zonu pokrova silicijskog sintera sa temperaturama 35-60°C; i 3) distalnu padinsku nisko-temperaturnu zonu sa temperaturama ispod 35°C (Lynne, 2007).

Naslage silicijskog (ili karbonatnog) sintera koje se danas formiraju u mnogim oblastima mladog vulkanizma u svetu, a naročito u blizini termalnih izvora i gejzera (npr., Jeloustonski nacionalni park – Vajoming, SAD; Island; Novi Zeland; Kamčatka – Rusija) su oblika blagih konusa, ploča ili sočiva.

Budući da pomenuti izvori predstavljaju završne manifestacije vulkanizma, odnosno nastaju posle prestanka glavne, eruptivne aktivnosti, mnogi autori ih tretiraju kao postvulkanske manifestacije. U leckom vulkanskom kompleksu, silicijske naslage oko termalnih izvora i gejzera formirane su posle završetka glavnih faza vulkanske aktivnosti, – ajvećim delom u periodu srednji – gornji miocen. Svoju aktivnost su sve manjim intenzitetom nastavili do pliocena (Ilić, 2004). Ostaci pomenute aktivnosti prisutni su i danas u vidu termalnih izvora u okolini Prolom banje (Pupavci) i gejzera u Sijarinskoj banji.



Slika 94. Šematski prikaz formiranja silicijskog sintera (Jones & Renaut, 1997)

*Gejzeriti* i *termalni izvori* predstavljaju površinske manifestacije hidrotermalne aktivnosti (Zeil, 1959. iz Jones & Renaut, 1997). Termin *gejzerit* se često poistovećuje sa terminom *silicijski sinter*. Po našem mišljenju, adekvatna primena termina *gejzerit* je vezana isključivo za silicijske naslage koje su nastale aktivnošću gejzira, dok je *silicijski sinter* sveobuhvatniji termin i podrazumeva silicijske naslage koje su nastale kao posledica svih manifestacija subaeralne ili subakvatske termalne aktivnosti.

Voda u pomenutim zagrejanim termalnim sistemima je meteorskog porekla. U dublje delove terena dospela je duž pukotinskih sistema ili poniranjem kroz porozne vulkanske stene. Termičku energiju preuzela je iz vulkanita, odnosno rezidualne toplotne energije andezitskog vulkanizma. Do kontakta sa dublje smeštenom magmom verovatno nije dolazilo, budući da je cirkulacija ovih fluida vršena u plićim delovima terena nego u slučaju hidrotermalnih ležišta vezanih za duboke razlomne zone.

Silicija koja je deponovana oko termalnih izvora verovatno potiče iz vulkanskih stena odakle je izlužena hidrotermalnim rastvorima. Način privođenja silicije u tople rastvore izvršen je na isti način kao i kod epitermalnih ležišta.

Hemijski sastav hidrotermi u mnogome je zavisio od karakteristika stenskih kompleksa kroz koje su rastvori proticali. Primer je ležište arhitektonskog ukrasnog kamena, mermernog oniksa, u Sijarinskoj banji – u pomenutom slučaju se radi o



karbonatnom /travertinskom/ sinteru koji ima istu genezu kao i silicijski sinter; razlika je samo u stenama, koje su hidroterme izlužile.

Nalazište karbonatnog sintera Sijarinska banja se nalazi u vulkanitima izdvojenim od glavne mase leckog vulkanskog kompleksa. Postoji mogućnost da su hidrotermalni rastvori na svom putu naišli na krečnjake ili mermere, koji su predstavljali izvor karbonata.

Temperature hidrotermi u dubljim nivoima su više od 175°C (*Fournier i Rowe*, 1966. iz *Herdianita et al.*, 2000), dok su topli vodeni rastvori iz kojih su silicijski sinteri formirani, bili alkalno-hloridnog karaktera i blizu neutralnih pH vrednosti (*Lynne*, 2007).

Precipitacija silicije u sistemima termalnih izvora pripisuje se različitim mehanizmima: evaporativnoj koncentraciji, hlađenju (pad temperature), promeni pH faktora, katjonskim efektima i dr.. Najverovatnije da do deponovanja silicije nikada ne dovodi samo jedan od pomenutih geohemijskih faktora, već se radi o njihovom kombinovanom delovanju (*Guidry & Chafetz*, 2002).

Silicija se deponuje u vidu amornog opala. Tokom vremena ona trpi dijagenetska preobražavanja, bez obzira na to da li je silicijski sinter bio prekriven mlađim litološkim članovima ili nije. Dijagenetske promene uključuju seriju transformacija silicijskih faza od amornog opala opal-A, parakristalnog opala-CT ± opal-C do konačno mikrokristalnog kvarca (kalcedona i kvarca). Moganit, polustabilni polimorf silicije, može se pojaviti kao prelazna faza silicije između opala-C i kvarca (*Rogers & Cressey*, 2001).

U silicijskim sinterima tercijarne starosti, sva silicija bi trebalo da je dijagenetski promenjena u kvarc. Prema Nakanishiju i dr. (*Nakanishi et al.*, 2003) dijagenetske promene se u odnosu na vreme u pomenutim sredinama klasifikuju na sledeći način: dominantni opal-A – <10ka, opal-CT sa kvarcom – 10ka do 1 Ma, i konačno potpuno u kvarc iskristalisali silicijski sinter – >1Ma.

Mineraloška ispitivanja juvelirskog kamena silicijskog sintera u leckom vulkanskom kompleksu u potpunosti su u skladu sa prethodno pomenutim stavovima, što je i razumljivo jer su silicijski sinteri leckog vulkanskog kompleksa, najverovatnije, miocenske starosti. Celokupna masa silicijskog sintera pretvorena je u kalcedon i sitnozrni kvarc.

Tokom izlivanja silicijskog sintera na površinu terena duž izlivnih kanala, terasa, ili u okviru vodenih bazena, dolazi do inkorporiranja u njen sastav i silifikacije biljaka, polena, insekata, dijatoma, radiolarija i drugih organskih materija. U juvelirskom kamenu iz nalazišta silicijskog sintera u leckom vulkanskom kompleksu nalaze se sačuvani njihovi

fosilni ostaci. U nalazištima Vrtače, Bučumet i grupi pojava u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa utvrđeni su razni fosilni ostaci, a u nalazištu Pusto Šilovo i silifikovano drvo, potpuno očuvane drvenaste građe. Novija eksperimentalna istraživanja (*Akaban et. al.* 2004) potvrdili su da su termalni izvori bogati silicijom pogodna sredina za vrlo brzu silifikaciju drveta.

U nalazištu Bučumet do izlivanja termalnih izvora moglo je doći u domenu kratera još uvek aktivnog vulkana. Na prethodno ukazuju morfologija terena i cirkularni oblik pločastog silicijskog rudnog tela. O intermitentnoj vulkanskoj i hidrotermalnoj aktivnosti svedoče uzorci breče iz nanosa Kamenog rebra, u kojoj se nalaze brojni fragmenti silicijskog sintera cementovani piroklastičnim materijalom. Bučumetsko rudno telo nastalo je nakon završene vulkanske aktivnosti, pri čemu su ranije formirana silicijska pločasta tela u potpunosti ili delom razorena i prekrivena andezitskim izlivima i piroklastitima; danas se nalaze u dubljim delovima vulkanskog kompleksa. Delovi vulkanskog kratera su, najverovatnije, zajedno sa terasastim naslagama sintera male debljine erodovani, dok su ploče siliciskog sintera, kao značajno rezistentnije, ostale na površini.

## 9.2. LEŽIŠTA MEHANIČKIH SEDIMENATA

Ležišta juvelirskih mineralnih sirovina tipa mehaničkih sedimenata su geološki i ekonomski vrlo značajan genetski tip pomenutih ležišta u leckom vulkanskom kompleksu i okolnim tvrevinama. Juvelirske mineralne sirovine silicijskog sastava su u osnovi visokog stepena tvrdine i otpornosti na mehanička razlaganja, tako da veoma često formiraju ekonomski značajne koncentracije u nanosima različitog tipa. Među najpoznatija nanosna nalazišta juvelirskog kamena spadaju ležišta safira, rubina, aleksandrita i drugog dragog kamenja na Šri Lanki, čija korena ležišta još uvek nisu poznata. Jedno od svetski značajnih sedimentnih nalazišta juvelirskog kamena silicijskog mineralnog sastava je *Agate Creek* (Queensland, Australia).

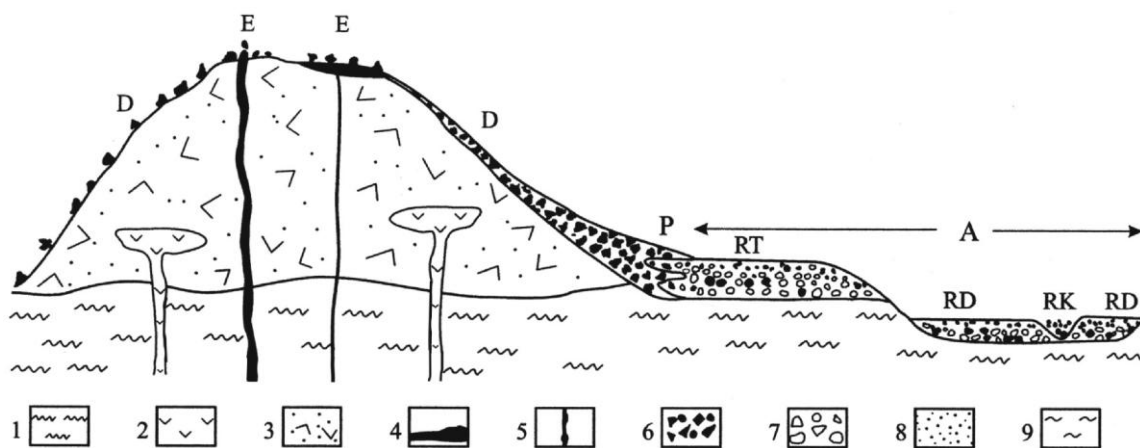
Nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina tipa mehaničkih sedimenata u leckom vulkanskom kompleksu predstavljena su eluvijalnim, deluvijalnim, proluvijalnim i

aluvijalnim nanosima. Nastala su kao rezultat mehaničkog raspadanja zona izdanaka primarnih hidrotermalnih ležišta – epitermalnih (kvarcno-brečastih žica i karcnih/ahatnih žica) i teletermalnih (vulkanskih ahata i silicijskog sintera) i potomje denudacije i akumulacije fragmenata silicijskog juvelirskog kamena iz pomenutih primarnih ležišta.

Nalazišta juvelirskog kamena silicijskog sastava koja pripadaju klasi ležišta mehaničkih sedimenata, nalaze se u nanosima holocenske starosti. Prema mestu lokalizacije u uslovima stvaranja, izdvojena su u podklase eluvijalnih, deluvijalnih, proluvijalnih i aluvijalnih nanosa. Pomenuti nanosi su prostorno često povezani, posebno u slučaju grupe pojava koja se nalazi u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa. Odlomci juvelirskog kamena u nalazištima mehaničkih sedimenata su različite krupnoće, oblika i stepena zaobljenosti.

Osnvni faktori koji su uticali na mehaničko razaranje primarnih nalazišta juvelirskog kamena su: tektonski procesi, vulkanska aktivnost, površinsko razaranje pod uticajem temperaturnih promena (mraz), biogeni (mehaničko dejstvo korenog sistema biljaka) i dr.

Transport fragmenata juvelirskog kamena dešavao se gravitacionim putem i vodenim tokovima. Vodeni tokovi su bili kako stalni – reke i potoci, tako i povremeni – spiranje materijala sa padina dejstvom bujica i sl. Dužina transporta bila je različita o čemu svedoči različit stepen zaobljenosti fragmenata juvelirskog kamena, kao i njihova veličina. Najkraći transport rudnog materijala bio je kod eluvijalnih nalazišta. Najduži transport i stepen zaobljenosti odlomaka vezan je za aluvijalne nanose.



Slika 95. — Šematski prikaz različitih genetskih tipova ležišta juvelirskog kamena u okviru leckog vulkanskog kompleksa sa posebnim naglaskom na formiranje nalazišta mehaničkih sedimenata (po Iliću, 2004).

1. metamorfiti (gnajsevi, leptinolit, mikašisti, kvarciti, amfibolit, mermeri); 2. andeziti; 3. piroklastiti; 4. silicijska naslaga („ploča“) oko termalnog izvora; 5. kvarcna žica; 6. fragmenti plemenitih silicijskih minerala; 7. fragmenti stena (kvarciti, gnajseva, andezita, piroklastita); 8. peskovi; 9. gline. E — eluvijum; D — deluvijum; P — proluvijum; A — aluvijum (RK — rečno korito; RD — rečna dolina; RT — rečna terasa).

Do formiranja nanosa sa fragmenatima juvelirskog kamena dolazi usled prestanka dejstva agensa pod čijim se uticajem vrši njihov transport. To su, u prvom redu, akumulacija materijala u delovima terena u kojima prestaje kretanje fragmenata pod uticajem gravitacije i pad prenosne moći vode u ravnijim delovima vodenih tokova. Koncentracija juvelirskog kamena u nanosu nije vezana za njihovu povišenu specifičnu težinu (gustinu), što je na primer, karakteristično za nanosna ležišta zlata, tako da i ne obrazuju visoke koncentracije u dubljim delovima nanosa. Njihova koncentracija u nanosu predstavlja u osnovi posledicu njihove veće otpornosti na mehanička presitnjavanja. Iz pomenutog razloga, transport juvelirskog kamena vodenim tokovima (rekama) može da se vrši na velikim udaljenostima od mesta primarnih izvora. Prethodno je i jedan od osnovnih razloga za formiranje pojava juvelirskog kamena u nanosima Kameničkog potoka na ulazu u Bojnik, kao i u aluvion reke Toplice kod Prokuplja.

Detaljnou analizom rezultata do danas sprovedenih geoloških istraživanja ležišta mehaničkih sedimenata na prostoru leckog kompleksa i okolnih tvorevina, može se zaključiti da su najveća i potencijalno ekonomski najznačajnija ležišta juvelirskih mineralnih sirovina nastala razaranjem primarnih rudnih tela silicijskog sintera. Do toga, moguće, dolazi zbog veće izloženost silicijskog sintera mehaničkom razaranju usled njihovog horizontalnog i subhorizontalnog položaja i blizine površini terena. Osim toga, velika količina materijala (fragmenata juvelirskog kamena) koja se nalazi izvan vulkanskog kompleksa, odnosno u tvorevinama njegovog istočnog oboda, ukazuje na moguće postojanje i drugih, još uvek neotkrivenih primarnih ležišta na ovom prostoru, ali i na pretpostavku da su ranije postojeća ležišta uništena tokom njihovog mehaničkog razaranja.

U nanosima juvelirskog kamena koji se karakterišu dužim transportom (proluvijalnim i aluvijalnim) dolazi do mešanja materijala iz različitih ležišta istog ili različitog genetskog tipa.

*Eluvijalna nalazišta.* — Eluvijalni nanosi su formirani u izdanačkim delovima „silicijskih ploča”, ali i u delovima drugih primarnih ležišta juvelirskih mineralnih sirovina, kao što su Sokolov vis i Mehane II. Čine ih uglavni (nezaobljeni) fragmenti plemenitih silicijskih minerala, niskog stepena granulometrijske sortiranosti. Eluvijalni nanosi većih razmera, poznati su samo na mestima gde su „silicijske ploče” bile otkrivene na površini terena (ležišta Bučumet i, delom, Vrtače).

Nalazište Kameno rebro najverovatnije je nastalo mehaničkim razaranjem korenog ležišta Bučumet. Transport razorenih fragmenata juvelirskog kamena bio je mali, usled čega je formiran nanos deluvijalnog tipa. Međutim, ne treba odbaciti mogućnost da se, makar jednim delom radi i o eluvijalnim ostacima u potpunosti razorenog primarnog rudnog tela silicijskog sintera. Postoji verovatnoća da eluvijalni nanosi Kamenog rebra predstavljaju rezultat razaranja Bučumetskog ležišta u domenu njegovih terasnih sinterskih naslaga ili u oblasti pražnjenja silicijskog sintera.

Eluvijalni nanosi, posebno u slučaju povezanosti Bučumetskog ležišta sa grupom pojava u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa, čine sukcesivan niz sa deluvijalnim i proluvijalnim nanosima, a posredno su povezani i sa aluvijalnim nanosima.

Najznačajnije količine juvelirskog kamena u eluvijalnim nanosima nalaze se u ležištu Vrtače. Prostorno i genetski vezan je za razaranje primarnog rudnog tela silicijskog sintera, koje je manjim delom sačuvano.

*Deluvijalna nalazišta.* — Deluvijalni nanosi - nosioci plemenitih silicijskih minerala, formirani su na padinama brda. Nastali su kao rezultat gravitacionog kliženja i spiranja fragmenata pomenutih minerala iz eluvijalnih nanosa. U svom gornjem delu vezani su za eluvijalne nanose, a u donjem delu za proluvijalne. Izgrađeni su od uglastih fragmenata plemenitih silicijskih minerala, nesortiranih po krupnoći, i pratećih fragmenata vulkanita (pretežno piroklastita) koji su mnogo podložniji površinskom raspadanju.

U deluvijalna nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina ubrajaju se ležište Kameno rebro koje je nastalo razaranjem primarnog ležišta silicijskog sintera, zatim Vrtače i deo nanosa u grupi pojava u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa (pojave na prostoru bučumetske padine i u oblasti sela Kladanci).

Pored deluvijalnih nalazišta silicijskog sintera, u vulkanskom kompleksu Lece se nalazi i deluvijalno nalazište Đake. Ono je nastalo mehaničkim razaranjem nalazišta Sokolov vis, ali i razaranjem još neotkrivenih primarnih rudnih tela, što se može zaključiti na osnovu varijeteta juvelirskog kamena u nanosu.

*Proluvijalna ležišta.* — Proluvijalni nanosi sa povišenim, potencijalno ekonomski značajnim sadržajima plemenitih silicijskih minerala formirani su u podnožjima brda. Nastali su kao posledica gravitacionog kliženja i spiranja fragmenata ovih minerala iz eluvijalnih i deluvijalnih nanosa. U pribrdskom delu terena, proluvijalni nanosi su vezani za deluvijalne

nanose, a u pridolinskom delu, često su asocirani sa aluvijalnim nanosima (za koje su predstavljali važan izvor materijala). Kao i deluvijalni nanosi, izgrađeni su od ugliedstih fragmenata plemenitih silicijskih minerala, nesortiranih po krupnoći.

Ležišta ovog genetskog tipa obično oivičavaju brda na čijim se istaknutim delovima nalaze „silicijske ploče”, koje su dale materijal za obrazovanje eluvijalnih i deluvijalnih nanosa. Takvi nanosi prisutni su u grupi pojava u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa kao i u nalazištu Pusto Šilovo, gde je nanos mešovito – proluvijalno-aluvijalnog tipa.

*Aluvijalna ležišta.* — Aluvijalna nalazišta plemenitih silicijskih minerala nalaze se u nanosima reka i potoka na prostoru leckog vulkanskog kompleksa i u obodnim geološkim tvorevinama. Njihovo formiranje se vezuje za period od početka holocena do danas. Plemeniti silicijski minerali koji se nalaze u njihovom sastavu, potiču iz prethodno opisanih nanosa, a preko njih i iz primanih ležišta. Usled dužine transporta, fragmenti su različitog stepena zaobljenosti fragmenata i koncentracije u nanosu. Nalaze se u zajednici sa drugim rezistentnim mineralima i stenama sa sabirne površine: kvarcitima, mikašistima, gnajsevima, svežim vulkanitima i dr.

Aluvijalne nanose čine: terasni nanosi, dolinski nanosi i nanosi savremenih korita. Najzastupljeniji su u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa a, naročito, u rečnoj dolini Svinjaričkog potoka. Preovlađujuća juvelirska mineralna sirovina u ovom tipu nanosa je odgovara silicijskom sinteru.

Ekonomski potencijalno značajne koncentracije juvelirskog kamena poznate su i u aluvijonima Velike Kosanice i Kosanice koje se nalaze u zapadnom i severozapadnom delu vulkanskog kompleksa Lece. U pomenutim nanosima preovlađujući varijeteti juvelirskog kamena slični onima iz nalazišta Mehane II, Male Đake, Sokolov vis i Put za Vlasovo, međutim, zastupljeni su i varijeteti juvelirskog kamena silicijskog sastava čija korena ležišta još uvek nisu poznata. Karakteristično je da u aluvijalnim nanosima Velike Kosanice i Kosanice nije prisutan juvelirski kamen Bučumetskog tipa, koji je čest u nanosnim ležištima u istočnom i južnom delu kompleksa.

Pored pomenutih, značajan je i aluvijon Goleme reke, odnosno nalazište Pusto Šilovo u kome preovlađuju silicijski sinter i, u manjoj meri, ahat i ametist iz kvacno-brečastih zona.

## 10. EKONOMSKI TIPOVI LEŽIŠTA JUVELIRSKOG KAMENA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Izdvajanje ekonomskih tipova ležišta je značajno sa stanovišta prognoziranja, prospekcije i istraživanja juvelirskih mineralnih sirovina (Tošović R., 2004). Sa aspekta ocene mineralne potencijalnosti leckog vulkanskog kompleksa, međutim, značajna je činjenica da većinu ležišta juvelirskih mineralnih sirovina u svetu čine sirovine silicijskog mineralnog sastava, kojima pripadaju i nalazišta juvelirskog kamena na izučavanom prostoru.

Domaći mineralni resursi juvelirskog kamena nisu proizvodno aktivirani, što je, naravno, slučaj i sa nalazištima u leckom vulkanskom kompleksu. Zbog toga, sa striktno ekonomskog aspekta, ne možemo govoriti o aktivnim ekonomskim tipovima juvelirskih mineralnih sirovina. Međutim, ukoliko se uzmu u obzir zastupljenost i razmere nalazišta (ležišta i pojava), kvalitet mineralne sirovine, koji je potvrđen juvelirskom obradom i izradom nakita (uz dobar prijem na domaćem tržištu), smatramo opravdanim izdvajanje ekonomskih tipova ležišta juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa.

Ekonomski tipovi ležišta juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa su:

- Hidrotermalni ekonomski tip ležišta: epitermalni (kvarcno brečaste zone i žični ahati), teletermalni (silicijski sinteri i vulkanski ahati); i
- Sedimentni ekonomski tip ležišta: ležišta mehaničkih sedimenata — eluvijalni, deluvijalni, proluvijalni i aluvijalni nanosi.

Hidrotermalna ležišta ahata, ametista, jaspisa i kalcedona su značajan ekonomski tip ležišta juvelirskih mineralnih sirovina u svetu. Najveći deo svetske produkcije pomenutih mineralnih sirovina potiče upravo iz takvih ležišta (ležišta u Meksiku, Nemačkoj, Brazilu i dr.). Kvarcno-brečaste zone i žični ahati leckog kompleksa predstavljaju prave predstavnike ovih ležišta i ni po čemu ne zaostaju za svetskim ležištima – kako u pogledu razmera, tako i u pogledu kvaliteta. U prilog ove tvrdnje govori i činjenica da je prikaz ahata iz ležišta sa

područja leckog vulkanskog kompleksa našao mesta u popularnoj knizi enciklopedijskog karaktera *Agates III* (Zenz J., 2011), a što predstavlja svojevrsnu potvrdu njihovog kvaliteta.

Jaspisi i kalcedoni, juvelirske mineralne sirovine koje su vezane za izlivanje hidrotermi na površinu terena, ranijih godina su retko su bili tretirani kao silicijski sinteri. U poslednje vreme, međutim, sve je više takvih slučajeva; primer su nalazišta u Rumuniji – npr. Măgura Bradului u oblasti Brad (*Constantina C. & Pop D.*, 2003).

Koncentracije vulkanskih ahata u leckom vulkanskom kompleksu su tip nalazišta koji se u pogledu ekonomskog značaja uslovno može smatrati ekonomskim tipom. Osnovni razlog za takav pristup ogleda se u činjenici da su dosadašnjim istraživanjima u leckom kompleksu utvrđene samo dve manje pojave tih mineralnih sirovina. Međutim, budući da je ovaj tip ahata vrlo čest način pojavljivanja njegovih ekonomski značajnih koncentracija u svetu (često lokalizovanih u andezitskim vulkanskim stenama), postoji opravdanje da se i on svrsta u ekonomski tip ležišta.

Ležišta mehaničkih sedimenata su jedan od vodećih ekonomskih tipova nalazišta juvelirskog kamena u svetu. Različitog su mineralnog sastava (karakteristična su nalazišta safira, topaza, granata u oblasti Ratnapura na Šri Lanci), veličine i uslova stvaranja. Vrlo često su osnovni nosioci jaspisa, kalcedona i ahata. Najveći ekonomski značaj, usled razmera imaju aluvijalni nanosi, kao što je to slučaj i u leckom vulkanskom kompleksu i njegovoj neposrednoj okolini. U leckom vulkanskom kompleksu, međutim, ekonomski su značajni i eluvijalno-deluvijalni nanosi (ležište Vrtače).



## 11. MORFOSTRUKTURNI TIPOVI ORUDNENJA

Osnovni morfološki tipovi rudnih tela juvelirskog kamena u leckom vulkanskom kompleksu su *pločasta* i, u mnogo manjoj meri, *izometrična* rudna tela. Rudna tela hidrotermalne geneze (epitermalna i teletermalna) su strukturno kontrolisana što, u osnovi, i predodređuje njihov oblik. Rudna tela juvelirskog kamena u nalazištima mehaničkih sedimenata pripadaju grupi pločastih rudnih tela.

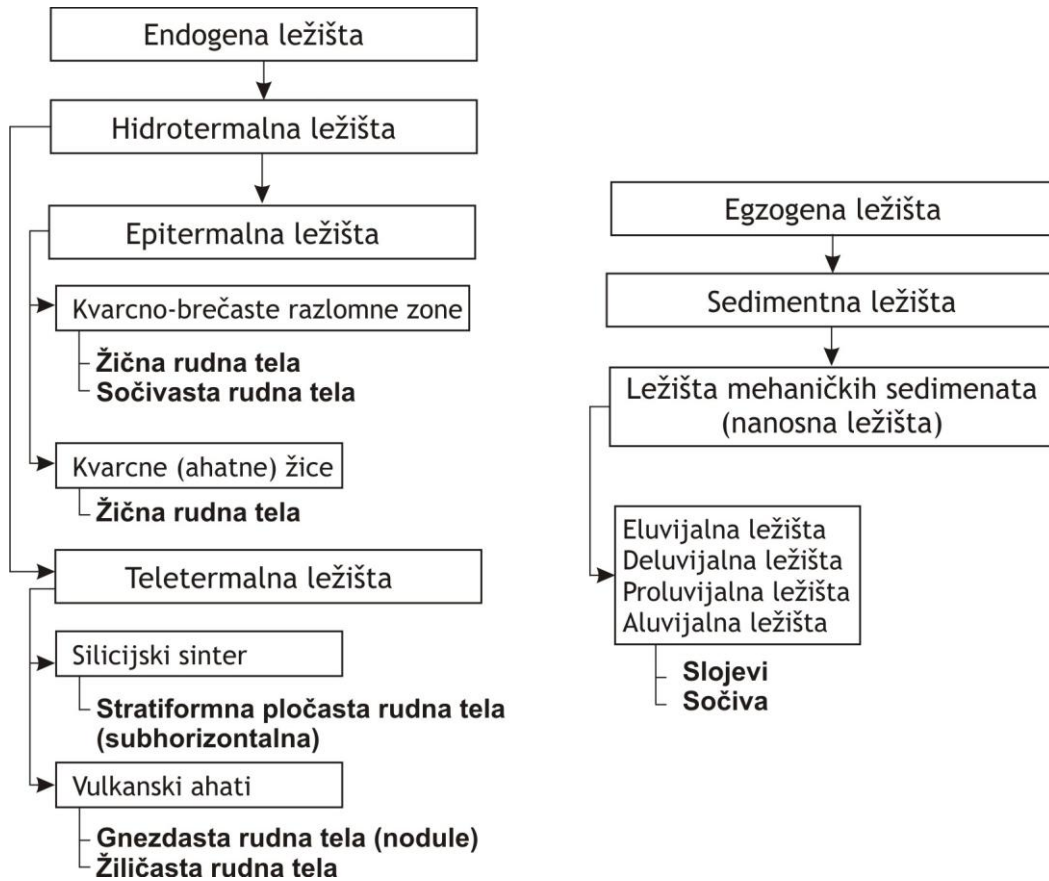
U klasi hidrotermalnih ležišta epitermalnog tipa dominiraju rudne žice. Poznata su u dva osnovna vida – kao kvarcno-brečaste zone i kao kvarcne (ahatne) žice. Osim rudnih žica, u kvarcno-brečastim zonama nalaze se i rudna tela oblika sočiva.

Hidrotermalne rudne žice su različitih razmera. Njihova dužina varira od nekoliko decimetara do više stotina metara, a debljina od nekoliko centimetara do par metara. Rudna tela malih razmera su česta kod vulkanskih ahata; nastala su zapunjavanjem pukotina.

Teletermalna hidrotermalna ležišta juvelirskog kamena (silicijski sinteri) pripadaju grupi subhorizontalnih, stratiformnih pločastih rudnih tela, što je direktna posledica izlivanja hidrotermalnih rastvora na površinu terena ili u manje basene oko termalnih izvora.

Rudna tela u klasi ležišta mehaničkih sedimenata su dominantno pločastog oblika. Nalaze se u vidu slojeva i sočiva u eluvijalnim, deluvijalnim, proluvijalnim i aluvijalnim nanosima.

Izometrična rudna tela su karakteristična za vulkanske ahate. Nastala su kao posledica ispunjavanja šupljina u vulkanitima koje su nastale gubitkom gasova iz lave. Nailaskom hidrotermalnih rastvora bogatih silicijom na pomenutu sredinu došlo je do stvaranja rudnih tela oblika malih gnezda, tj. ahatnih nodula. Njihove dimenzije su vrlo male i kreću se od nekoliko centimetara do nekoliko decimetara.



Slika 96. – Šematski prikaz zastupljenosti morfostrukturnih tipova orudnjenja po genetskim tipovima ležišta

## 12. POTENCIJALNOST JUVELIRSKIH MINERALNIH RESURSA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Stepen geološke istraženosti juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa je relativno nizak i neravnomeran. Geološki najveća i ekonomski najznačajnija ležišta juvelirskog kamena na ovom prostoru, predstavljaju rezultat slučajnih otkrića tokom istraživanja ležišta olova, cinka i plemenitih metala. Jedina istraživanja, doduše malog obima, sprovedena u cilju pronalazjenja novih nalazišta juvelirskog kamena na ovom prostoru, izvršena su u 1984. godine (*Malešević et al*, 1985) i 2002/2003. godine (*Ilić et al*, 2003; *Zlatanović et al*, 2004). Njihovi rezultati su skromni i nisu u značajnijem obimu doprineli sagledavanju potencijalnosti leckog vulkanskog kompleksa u celini. Prva su bila preliminarnog karaktera, koncentrisana na selektovane prostore leckog vulkanskog kompleksa odnosno područja u kojima su od ranije bila poznata ležišta i pojave – okolina polimetalnog rudnika Lece. Druga istraživanja izvedena 2002. i 2003., finansirana skromnim sredstvima, izvršena su, na prostoru koji se nalazi van vulkanskog kompleksa, u njegovom istočnom obodnom delu. Polaznu osnovu za razmatranje mineralne potencijalnosti juvelirskih mineralnih sirovina na ovom prostoru na početku izrade disertacije otuda su bila samo poznata nalazišta juvelirskog kamena u jugoistočnom delu leckog kompleksa, kao i nalazišta mehaničkih sedimenata izvan vulkanskog kompleksa.

U cilju adekvatnijeg utvrđivanja potencijalnosti leckog vulkanskog kompleksa u pogledu juvelirskih mineralnih resursa tokom realizacije disertacije sprovedena su opsežna terenska istraživanja. Njima je pronađeno 7 novih nalazišta juvelirskog kamena, od kojih se šest nalazi u ranije neistraženim delovima vulkanskog kompleksa. Pronađeni su i novi genetski podtipovi ležišta juvelirskog kamena (vulkanski ahati). Sa novootkrivenim nalazištima juvelirskog kamena silicijskog sastava utvrđeni su i novi podvarijeteti ahata, kalcedona i jaspisa.

Neophodnost ovakvog pristupa proizašla je i iz činjenice da lecki vulkanski kompleks nije detaljno izučen kako sa stanovišta petrološkog sastava, tako i sa stanovišta

strukturnog sklopa. Jedan od ciljeva disertacije bio je da se podigne nivo spoznaje o potencijalnosti juvelirskih mineralnih sirovina i da se postave osnovni principi koji će predstavljati polaznu osnovu za dalja istraživanja i proučavanja. Sprovedenu mineragenetsku ocenu, kao i ocenu potencijalnosti terena, ne treba shvatiti kao završnu i konačnu. Ona zahteva dalja kompleksna, sistematska i detaljna istraživanja. Pored traganja za ležištima juvelirskog kamena od velikog značaja predstavljajuće i strukturalna istraživanja, istraživanja petrološkog sklopa, karaktera vulkanske aktivnosti i druga.

Prilikom polazne ocene potencijalnosti leckog vulkanskog kompleksa, imajući u vidu rezultate prethodnih istraživanja, oslanjali smo se na dva bitna elementa: geološku osobenost sredine, u kojoj su se nalazila poznata ležišta juvelirskog kamena, kao i na genezu tih ležišta. Upoređujući lecki vulkanski kompleks sa sličnim vulkanskim kompleksima u svetu, u kojima su poznata nalazišta juvelirskog kamena, kao i na osnovu njegovih razmera, došli smo do zaključka da je potencijalnost kompleksa značajno veća od one o kojoj govore rezultati prethodno izvršenih istraživanja.

## 12.1. SPECIFIČNOSTI JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA

Prilikom proučavanja potencijalnosti bilo koje geološke sredine u pogledu juvelirskih mineralnih sirovina treba imati u vidu i njihove specifičnosti u odnosu na druge vrste mineralnih sirovina. Njihov najpotpuniji pregled nalazi se u radu Ilića (Ilić, 1999). Najznačajnije specifičnosti juvelirskih mineralnih sirovina su:

1. Juvelirske mineralne sirovine su predstavljene plemenitim mineralima (kristalnim individuama, kristalnim agregatima, kristalastim agregatima ili amorfnim supstancama) i stenama, koji se ističu svojom lepotom.
2. Njihova ležišta su većinom mala, a karakterišu se niskim procentualnim učešćem i veoma neravnomernom raspodelom plemenitih minerala i stena (juvelirskog kvaliteta).

3. Njihovo istraživanje se vrši površinskim i podzemnim istražnim radovima; istražno bušenje se ređe primenjuje i to samo u cilju okonturivanja matičnih stena (nosilaca juvelirskih mineralnih sirovina).

4. Njihovo oprobavanje se najčešće vrši masovnom metodom.

5. Proračun rezervi se najčešće vrši statističkom metodom.

6. Njihovim istraživanjem uglavnom se dobijaju rezerve nižih kategorija (kod nas: C<sub>1</sub> i C<sub>2</sub>), ali se na osnovu tih rezervi može otvarati ležište i vršiti njegova eksploatacija.

7. Njihovo istraživanje se često izvodi jednovremeno sa eksploatacijom.

8. Kod ocene njihovih ležišta mnogo veći značaj ima kvalitet mineralne sirovine (prvenstveno lepota plemenitih minerala i stena kao i njihova pogodnost za juvelirsku obradu) nego rezerve.

9. Juvelirske mineralne sirovine (osim dijamanta) su na svetskom tržištu podložne velikim promenama u tražnji (modi) i ceni.

Iz gore navedenih razloga, eksploatacija ležišta juvelirskih mineralnih sirovina često se mora započeti i pri niskom stepenu istraženosti, s tim što se dalje istraživanje ležišta vrši jednovremeno sa eksploatacijom. Na osnovu toga, viši stepen poznavanja potencijalnosti leckog vulkanskog kompleksa se može postići upravo otpočinjanjem eksploatacije već poznatih nalazišta iako stepen njihove istraženosti nije visok. Klasične metode istraživanja, koje podrazumevaju intezivno istražno bušenje, zapravo ne mogu dati adekvatne rezultate. Zbog niskog procentualnog učešća i veoma neravnomerne raspodele plemenitih minerala najveći deo bušotina može biti negativan i na takav način se može doći do negativne ocene. Bušenje je potrebno samo u obimu utvrđivanja prostiranja rudonosne strukture dok se procena kvaliteta i količine juvelirske mineralne sirovine mora izvršiti istražno-eksploatacionim radovima.

Zbog gore navedenih specifičnosti, u mnogim slučajevima nije lako utvrditi da li se radi o ležištu ili pojavi (kao što je to kod drugih mineralnih sirovina, naročito onih koje su predstavljene velikim ležištima). Zbog toga istraživači juvelirskih mineralnih sirovina radije koriste neutralni termin nalazište koji obuhvata i ležišta i pojave, koji je korišćen i u ovoj disertaciji.

U cilju ocene potencijalnosti juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa obrađeno je više kriterijuma potencijalnosti, odnosno, kontrolnih faktora stvaranja i razmeštaja rudnih tela juvelirskog kamena. Najznačajniji deo pažnje je posvećen

sledećim kriterijumima: magmatogenom, strukturnom, litološkom, geomorfološkom i geofizičkom kriterijumu.

## 12.2. MAGMATOGENI KRITERIJUM POTENCIJALNOSTI

Nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa su postmagmatska. Paragenetski su vezana sa intermedijarnim vulkanskim kompleksom Leca, a stvarana su u epitermalnim i teletermalnim uslovima hidrotermalnog stadijuma.

Genetska veza između magmatskog kompleksa i ležišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa nije utvrđena. Za njeno postojanje neophodno je da ležišta i vulkanske stene nastanu istovremeno u jedinstvenom geološkom procesu.

Veza između rudnih tela juvelirskog kamena i vulkanskog kompleksa ostvarena je preko istih tektono-magmatskih struktura koje su predstavljale kanale duž kojih je dolazilo do utiskivanja magme i do izlivanja vulkanskih stena. S druge strane, te iste strukture su predstavljale sredine kojima su cirkulisali hidrotermalni rastvori koji su u hipsometrijski višim nivoima terena doveli do stvaranja ležišta juvelirskih mineralnih sirovina.

Pitanje izvora rudnih komponenata još uvek je otvoreno. U slučaju juvelirskih mineralnih ležišta u leckom vulkanskom kompleksu rudnu komponentu predstavlja silicija, koja je mogla da potiče iz matičnog magmatskog rastopa, ali isto tako i iz već formiranih vulkanskih stena, iz kojih su je izlužili topli vodeni rastvori. U prilog ovoj pretpostavci svedoči i ležište mermernog oniksa kod Sijerinske banje, takođe hidrotermalnog porekla. Budući da se radi o u manjoj i izolovanoj masi leckog vulkanskog kompleksa, hidrotermalni rastvori su imali veću šansu da u svom kretanju duž pogodnih razlomnih zona naiđu na okolne stenske formacije i zadobiju dominantno karbonatni karakter.

Magmatska ognjišta su najvećim delom za ležišta juvelirskih mineralnih sirovina predstavljala izv iz kojih su vodeni rastvori preuzeli toplotnu energiju. Pomenuti hidrotermalni rastvori su potom lužili siliciju iz već formiranih vulkanskih stena, ali su je

vrlo verovatno mogli privesti u svoj sastav i iz drugih stenskih formacija koje se nalaze u podlozi vulkanskog kompleksa.

O strukturama koje su bile od značaja za formiranje ležišta juvelirskog kamena više reči će biti u poglavlju Strukturni kriterijum potencijalnosti. Najznačajnije duboke razlomne strukture koje su predisponirale sredinu za izlivanje vulkanskih stena su Tupalska i Merdarska dislokacija. Po *Pešutu* one su nastale u variscijskoj orogenezi (*Pešut*, 1976). Tokom alpske orogeneze dolazi do regeneracija pomenutih dislokacija, kao i pratećih razlomnih struktura duž kojih se formiraju glavni centri vulkanske aktivnosti, a koji su doveli do formiranja najvećih masa vulkanskih stena i piroklastičnih tvorevina.

Prema petrohemijskim karakteristikama, vulkanske stene leckog kompleksa su produkti kalko-alkalne magme slabo razvijenog diferencijacionog niza. Svi ispitivani uzorci vulkanskih stena spadaju u polje kalko-alkalne serije. Srednji sadržaj oksida u ispitivanim uzorcima (22) je sledeći:  $\text{SiO}_2=59,08\%$ ,  $\text{TiO}_2=0,59\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3=16,74\%$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3=4,23\%$ ;  $\text{FeO}=1,46\%$ ;  $\text{MnO}=0,07\%$ ;  $\text{MgO}=2,87\%$ ;  $\text{CaO}=6,03\%$ ;  $\text{Na}_2\text{O}=3,07\%$ ;  $\text{K}_2\text{O}=2,33\%$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5=0,30\%$ ;  $\text{H}_2\text{O}^+=1,56\%$ ;  $\text{H}_2\text{O}^-=0,91\%$  (*Serafimovski*, 1993.)

Lecki vulkanski kompleks odlikuje se izraženom višefaznošću obrazovanja tokom dugog vremenskog perioda – od gornjeg oligocena do sigurno sredine miocena, po nekim shvatanjima čak do pliocena. Raščlanjavanje faza stvaranja složenog vulkanskog kompleksa podrazumeva brojna detaljna geološka, strukturna, petrološka, geohemijska, strukturno-facijalna, geohronološka ispitivanja koja prelaze objektivne mogućnosti ove studije. U svakom slučaju, razrešavanja ovih problema u narednom periodu bi u mnogome doprinela detaljnijoj i kompletnijoj spoznaji potencijalnosti leckog vulkanskog kompleksa u pogledu ležišta juvelirskog kamena.

U svakom slučaju određena faznost u formiranju različitih vulkanskih formacija se može utvrditi, a nju je do sada najbolje obradio *Pešut* (1976). Vulkanska aktivnost je otpočela izlivima amfibolitskih andezita, koju je pratila faza jakog eksplozivnog vulkanizma koja je dovela do obrazovanja velike količine piroklastičnog materijala. Nakon toga stvaraju se nove značajne andezitske mase, sličnog hemijskog sastava sa izvesnim razlikama u zastupljenosti bojnih sastojaka. Sa novim tektonskim pokretima dolazi i do novih vulkanskih aktivnosti koji se ogledaju u novim izlivima i taloženju piroklastičnog materijala. Ove nove mase amfibolskih andezita su konsolidovane u nešto dubljim nivoima kao posledica ranije moćnog pokrivača izgrađenog od vulkanogenog materijala. Tektonski

procesu su značajno učestvovali u uobličavanju leckog vulkanskog kompleksa koji su se nastavili i nakon formiranja amfibolskih andezita. Nakon pomenutih nastupa faza u kojoj se formiraju kvarcno-brečaste zone i piroksenski andeziti. Stvaranjem naknadnih razlomnih struktura omogućava se intenzivna i obimna hidrotermalna aktivnost. Poslednja faza formiranja vulkanskog kompleksa nastaje nakon dužeg vremenskog prekida a predstavljena je izlivima i žičnim probojima piroksenskih andezita i andezit bazalta. Ovim članovima vulkanskog kompleksa se završava vulkanska aktivnost na ovom prostoru.

Apsolutna starost vulkanskih stena leckog masiva nije detaljnije proučena. Otežavajući faktor sigurno predstavlja polifazan karakter vulkanske aktivnosti čiji se početak smešta u gornji oligocen, budući da se u Tularima tufovi smenjuju naizmenično sa gornjo-oligocenskim sedimentima. Kraj vulkanske aktivnosti nije sigurno određen, iako postoje indicije da je produžen do pliocena (*Simić i dr.*, 2005). Apsolutna starost prvi put je određena K/Ar metodom od strane Lovrića (1983, neobjavljeno, iz *Serafimovki*, 1993). Pet uzoraka analiziranih svežih hornblenda andezita sa područja Lece-Gajtan pokazalo je starost od 27,5-31 milion godina, što odgovara gornjem oligocenu. Ispitivanja K/Ar metodom andezita sa područja Tulara dala su starost od 18-23 miliona godina, na osnovu čega se izvodi zaključak da su isti formirani u miocenu (*Serafimovki*, 1993). Treba, međutim, imati u vidu i visok stepen hidrotermalne alteracije ovog dela kompleksa kao i činjenicu da je dobijena vrednost starosti kompleksa mogla da predstavlja vrednost mlađe hidrotermalne aktivnosti.

Tačno vremena stvaranja rudnih tela juvelirskog kamena još je teže utvrditi. Pretpostavlja se da su rudne mineralizacije Pb-Zn-Au najverovatnije nastale u miocenu (*Simić i dr.*, 2005). Pojedina ležišta juvelirskog kamena su definitivno nastala jednovremeno sa epitermalnim polimetalničnim žičnim ležištima, poput nalazišta Rasovača koje se može smatrati delom polimetaličnog ležišta Lece. Vreme formiranja rudnih tela juvelirskog kamena je nedovoljno izučavano u savremenoj literaturi. Jedina poznata istraživanja odnosa između vremena nastanka matičnih stena i juvelirskog kamena silicijskog sastava su učinjena u dva slučaja – kalcedona i ahatno-ametistnih geoda. Starost kalcedona u Nevadi (Yucca Mt. - SAD) i matičnih stena je određivana u sklopu istraživanja pogodnosti sredine za odlaganje radioaktivnih materijala. Utvrđeno je da je kalcedon 3 Ma mlađi od matičnih stena (*Neymark, et al.*, 2002). S druge strane utvrđeno je da su ahatno-ametistne geode (Rio Grande do Sol, Brazil) formirane 10 do 50 Ma kasnije u odnosu na matične bazalte (*Gilg et al.*, 2003). Moxon (2009) na osnovu veličine zrna kristalita kalcedona u matičnim stenama



starosti do 60 Ma procenjuje da do formiranja ahata u vulkanskim stenama uglavnom dolazi u toku nekoliko milona godina.

Budući da se radi o postmagmatskim endogenim ležištima juvelirskog kamena, zbunjujuće može izgledati činjenica da silicijski sinteri Bučumeta predstavljaju pseudoslojeve uklopljene u produkte vulkanske aktivnosti – andezite i piroklastite. Ovo, međutim, nije u suprotnosti sa postmagmatskim karakterom stvaranja ležišta, jer se radi o dugotrajnoj vulkanskoj aktivnosti, koja se karakterisala višestrukim prekidima i obnavljanjem. Silicijski sinteri su nastali u međuperiodu između dve vremenski odvojene faze vulkanske aktivnosti. Postoji verovatnoća da su nastajali i nakon više faza vulkanske aktivnosti o čemu svedoče rezultati istražnog bušenja u okolini Bučumeta (u potezu između Bučumeta i rudonosne strukture – Jezerina – u dužem vremenskom periodu izbušeno je više istražnih buština u cilju utvrđivanja polimetaličnog orudnjenja u rudniku Lece). Za dokazivanje ove pretpostavke potrebno je da se izvrše kompleksne laboratorijske analize jezgra bušotina i utvrdi tip silicijskih tvorevina.

Pitanje geneze vulkanskih ahata i dalje ostaje otvoreno. Prema teoriji koja objašnjava njihov nastanak polimerizacijom u matičnoj lavi zaostale silicije (*Wang i Merino, 1995, Bryxina i Sheplev, 1999*) ovaj tip ležišta bi mogao biti u genetskoj vezi sa magmatskim kompleksom, odnosno njihov nastanak bio bi singenetski sa andezitskim stenama. Verovatnije je da se radi o postmagmatskom procesu stvaranja rudnih tela juvelirskog kamena koji je u paragenetskoj vezi sa matičnim magmatskim kompleksom. U prilog ovom viđenju geneze govore i rezultati određivanja apsolutne starosti ahatno-ametistnih geoda u bazaltima u oblasti Rio Grande do Sol na jugu Brazila (*Gilg et al., 2003*).

### 12.3. STRUKTURNI KRITERIJUM POTENCIJALNOSTI

Strukture koje su sa stanovišta lokalizacije i građe ležišta čvrstih mineralnih sirovina najznačajnije, prema vremenu stvaranja, klasifikovane su na prerudne, intrarudne i postrudne. Posmatrano sa stanovišta prognozne ocene potencijalnosti od osebnog značaja

su prerudne strukture, jer najviše utiču na lokalizaciju orudnjenja. Prema Jakovljevu (*Jakovljević G.F., 1982, iz Stajević B., 2003*) prerudne strukture su klasifikovane kao: tektonogene, tektono-magmatske, tektono-metamorfogene i tektono-egzogene. Od pomenutih prerudnih struktura za ležišta juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa su od posebnog značaja bile tektonogene i tektono-magmatske.

Tercijarni magmatizam leckog vulkanskog kompleksa je u bliskoj prostornoj i paragenetskoj vezi sa nalazištima juvelirskih mineralnih sirovina na tom prostoru. Prethodno se manifestuje preko uzajamne povezanosti nalazišta sa istim tipom premagmatogenih tektonskih linearnih dislokacija a, takođe, i sa sinmagmatogenim tektono-magmatskim strukturama linearnog i prstenasto-radijalnog tipa. Premagmatogene tektonogene linearne strukture imaju karakter dubokih razlomnih zona; dopiru do samih izvora magme u dubokim delovima zemljine kore predstavljajući na taj način dovodne vulkanske kanale. Ove strukture vrše ulogu kontrole položaja vulkanogenog kompleksa na regionalnom planu.

Tektono-magmatske strukture su stvarane tokom utiskivanja vulkanskih kompleksa, i u najvećoj meri su vezane za strukture vulkanskih aparata.

Osim pomenutih struktura, značajne za ocenu potencijalnosti juvelirskog kamena su i postmagmatske strukture (*Stajević B., 1980*) pretežno vezane za linearne razlomne zone. Od interesa su i tektono-egzogene strukture koje su od značaja za ležišta mehaničkih sedimenata juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa. Prema Jankoviću (*Janković S., 1994*) pomenute postmagmatske linearne i tektonoegzogene strukture bi se mogle smatrati strukturama koje nisu vezane sa magmatskom aktivnošću.

U grupi tektonogenih struktura su od posebnog interesa Merdarska i Tupalska dislokacija.

Merdarska dislokacija, vrlo markantna regionalna razlomna zona, duž koje se lokalno utiskuju i izlivaju vulkaniti, predstavlja zapadnu granicu Srpsko-makedonske mase sa labilnim ofiolitskim melanžom Vardarske zone. U okviru nje se nalazi više vulkano-plutonskih kompleksa, lokalizovanih kako u Srpsko-makedonskoj-masi, tako i u ofiolitskom melanžu. Može se pratiti od leckog masiva preko Novog brda do Bučima u Makedoniji i Halkidika u Grčkoj (*Serafimovski, 1990*).

Tupalska dislokacija se pruža preko istočnog dela leckog masiva, nastavljajući se preko tupalske andezitske mase i dalje preko Bujanovačkog masiva u Makedoniju. Duž ove

dislokacije osim više vulkanskih intruzija dacito-andezita u terenima Srbije, utisnut je i prostrani vulkanogeni kompleks Zletova u Makedoniji (Janković S., 1994).

Za ove regionalne tektonogene strukture vezane su i tektono-magmatske strukture odnosno strukture vulkanskih aparata u vidu glavnih i sekundarnih vulkanskih centara. Za Merdarsku dislokaciju su, od značajnijih centara vulkanske aktivnosti, vezani Braina i Kravari, a za Tupalsku – Tupalski vis, Šopot, Bučumet i Sveti Petar.

Tektono-magmatske strukture u leckom vulkanskom kompleksu najviše su vezane za centre vulkanske aktivnosti. I pored visokog stepena erodovanosti, pomenute strukture u savremenom reljefu grade markantne morfološke forme u vidu svodova, kupola sa stepeničastom prstenastom i prstenasto-radijalnom građom.

*„Takva građa je posledica koncentričnih i radijalnih (u planu), odnosno cilindričnih i konusnih (u vertikalnom preseku) raseda nastalih dinamičkim uticajem magmata i gasno-tečnih fluida pri utiskivanju.“* (Stajević B., 1980).

Prstenaste i prstenasto radijalne strukture se mogu smatrati strukturama vulkanskih aparata. Predstavljaju tipomorfne oblike koji su nastali u vezi sa evolucijom magmatskog ognjišta, delovanjem magme na okolne stene, posebno krovinu i procesima vulkanogeno-intruzivnih aktivnosti (Janković S., 1994). Prstenasto-radijalne strukture su najčešće izometričnog i ovalnog oblika, ali se javljaju i drugačiji morfološki tipovi. Zbog višestruke i dugotrajne vulkanske aktivnosti, kao i zbog intenzivne tektonike, u leckom vulkanskom kompleksu mnogo je teže izdvojiti složene strukturno-morfološke tipove prstenasto-radijalnih struktura. Mnogo jednostavnije se izdvajaju mlađe i pravilnije prstenasto-radijalne struktura. Postoji mogućnost formiranja i poligonalnih struktura izdizanja. Ovaj tip struktura može biti samo delimično formiran ili poremećen mlađim aktivnostima (vulkanskim i tektonskim), što je vrlo čest slučaj u leckom vulkanskom kompleksu.

Detaljniji opis primarnih krupnih vulkanskih struktura posebno kaldera dat je u poglavlju *Strukturne karakteristike leckog vulkanskog kompleksa* te ćemo ovde naglasiti one strukture vulkanskih aparata za koje su vezane pojave i ležišta juvelirskog kamena.

Bučumetsko ležište se može smatrati ležištem koje je nastalo u domenu dovodnog vulkanskog kanala - najverovatnije sekundarnog vulkanskog centra koji je nastao u domenu razorene gajtanske kaldere. Takođe, vrlo perspektivnim područjem može se smatrati i obližnji, takođe sekundarni, vulkanski centar Sokolov kamen. On predstavlja izometričnu

strukturu u kojoj se nalaze ostaci nekadašnje kupole, dok su dovodni kanali hidrotermalnih rastvora istovremeno bili i dovodni vulkanski kanali.

U istočnom delu vulkanskog kompleksa nalazi se vrlo značajna prstenasto-radijalna tektono-magmatska struktura, tzv. sekundarni vulkanski centar Sveti Petar. U domenu ove strukture nisu uočena nalazišta juvelirskog kamena, ali su prisutne zone dve mineralizacije od kojih je jedna primarnog tipa (rudni izdanci), a druga je predstavljena deluvijalnim nanosom. Prstenasto radijalna struktura vulkanskog centra Sveti Petar je izometričnog tipa sa brojnim linijskim strukturama nastalim verovatno kako u samom procesu vulkanske aktivnosti, tako i naknadnim tektonskim procesima. Značajno je da se na ovom prostoru uočavaju preslojavanja andezitskih vulkanskih izliva sa tefrom – tufovima i vulkanskim brečama.

Mala Vlasa je manji vulkanski centar, odnosno struktura prstenastog tipa u SSI delu vulkanskog kompleksa Lece. Iako u njoj dosadašnjim istražnim radovima nije pronađen veći broj nalazišta juvelirskog kamena, može se smatrati potencijalno veoma značajna kao sredina njihove moguće lokalizacije. U nealterisanim andezitima, u konturama pomenute strukture, nalazi se ležište vulkanskih ahata/kalcedona Put za Vlasovo. Sudeći prema karakteristikama geološke građe ovog područja, najverovatnije je postoji veza između hidrotermalnih rastvora i prstenastih struktura koje su stvorile prostor za njihovu cirkulaciju. Duž tih struktura došlo je i do izlivanja hidrotermi na površinu terena, odnosno potonjeg stvaranja vulkanskih ahata, prožimanjem pukotina i šupljina u vulkanitima. Veza između prstenastih struktura Male Vlase i nalazišta Put za Vlasovo zahteva dalja istraživanja kako bi bila dokazana.

U centralnom delu leckog vulkanskog kompleksa nalazi se Đavoljevaroška kaldera. Prema razmerama se ubraja u najveće strukture vulkanskih aparata na ovom prostoru. U disertaciji je tretirana kao jedna od većih sekundarnih kaldera u nekadašnjoj đavoljevaroškoj megakalderi. Serafimovski (*Serafimovski*, 1993) smatra da su u pomenutoj megakalderi naknadno formirane 3 relativno manje kaldere, od kojih je najveća tzv. kaldera Đavolja Varoš – 2.

U kalderi Đavolja Varoš – 2, nalazi se nekoliko nalazišta juvelirskog kamena od kojih su u periodu izrade disertacije pronađena dva (Sokolov vis i Male Đake). Takođe, pronađeno je i više indicija mineralizacije (manji izdanci), koje su kao i nalazišta vezane za manje, sekundarne, vulkanske centre nastale u okviru kaldere (Mali krš i Sokolov vis).

Kaldera Đavolja Varoš – 2 je značajno poremećena mlađim rasedima, posebno rasedima čije je generalno pružanje I–Z.

Kaldera Đavolja varoš – 2 je u severozapadnom delu razorena strukturom sekundarnog vulkanskog aparata Mehane. U domenu ovog vulkanskog centra formirane su brojne prstenasto-radialne strukture za koje je vezano nalazište Mehane II. Takođe, na istom prostoru ali mnogo bliže dovodnom kanalu, lokalizovana je i pojava Mehane I.

Detaljnou analizom pravaca pružanja epitermalnih ahatnih žičnih tela moguće je pretpostaviti da je položaj nalazišta Mehane II kontrolisan prstenastim i radialnim strukturama dok je položaj pojave Mehane I koja se nalazi bliže dovodnom kanalu, kontrolisan njegovom blizinom.

Postmagmatske strukture su predstavljene dominantnim linearnim razlomima koji kontrolišu položaj više ekonomski značajnih ležišta juvelirskog kamena hidrotermalno-žičnog tipa na ovom prostoru.

U okviru leckog vulkanskog kompleksa izdvojena su tri glavna razlomna pravca. Prvom pripadaju razlomni sistemi generalnog pravca SSZ–JJI. Najznačajnija među njima je višestruko aktivirana struktura Šuta–Rasovača koja kontrolišu položaj ekonomski značajnog nalazišta juvelirskog kamena (ametista, ahata i jaspisa) Rasovača. Intenzivno je brečizirana.

Drugi generalni pravac razlomnih struktura u leckom vulkanskom kompleksu je I–Z. Ovi razlomi, delom, presecaju i pomeraju starije razlome, kao i strukture vulkanskih aparata, istovremeno predstavljajući kvarcne razlomne zone za koje su vezana polimetalna orudnjenja (npr. Brajšor, Đavolja varoš, Tulare). Od do sada otkrivenih nalazišta juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa, linearnom razlomnom strukturom pružanja I–Z kontrolisano je nalazište Ždraljevići (centralni deo vulkanskog kompleksa) i razlomna rudonosna struktura Jezerina u ležištu Rasovača.

Treći pravac je pružanja SSI–JJZ. Karakterističan je za sistem najmlađih razlomnih struktura koje seku i pomeraju ranije pomenute razlome i već formirane koncentrično lučne strukture nastale u vezi sa vulkanskim aparatima.

Od značaja za kontrolu položaja rudnih tela juvelirskog kamena od značaja su linearne postmagmatske strukture. Pravac pružanja regionalnih dislokacija (Merdarska i Tupaska) - SSZ-JJI je najperspektivniji. Osim njih od posebnog interesa su i lokalne, linijske i prstenasto-koncentrične strukture.

## 12.4. LITOLOŠKI KRITERIJUM POTENCIJALNOSTI

Sa stanovišta prognoziranja juvelirskih mineralnih resursa leckog vulkanskog kompleksa, litološki faktor se može posmatrati kao povoljan, jer vulkanske stene generalno predstavljaju litološku sredinu koja je pogodna za stvaranje rudnih tela juvelirskog kamena silicijskog sastava. U prilog prethodnom svedoči podatak da se danas u svetu, upravo u andezitskim vulkanskim stenama, nalazi veliki broj ležišta ahata, jaspisa, kalcedona i opala; najveći broj njih je tercijarne starosti. Budući da je lecki vulkanski kompleks dominantno sačinjen od andezita, litološki kriterijum se može oceniti kao povoljan. U pokušaju da se izdvoje perpektivniji litološki članovi vulkanskog kompleksa, međutim, litološki kontrolni faktor na ovom prostoru nije od većeg praktičnog interesa, jer je položaj rudnih tela na lokalnom planu, kontrolisan linearnim razlomnim strukturama i strukturama vulkanskih aparata.

Značaj litološkog kontrolnog faktora je najizraženiji kod vulkanskih ahata, jer za njihovo formiranje strukturalna kontrola nije posebno značajna. Preduslov formiranja je postojanje šupljina u vulkanitima koje su zaostale od gasnih džepova u lavi. Značajnu ulogu za nastanak vulkanskih ahata imaju poroznost i permeabilnost stene, jer omogućavaju prožimanje stene hidrotermalnim rastvorima i ispunjavanje litofiza. Naravno, treba imati u vidu da geneza vulkanskih ahata još uvek nije razjašnjena, ali da je prisutnost šupljina odnosno litofiza, očigledan preduslov za njihovo stvaranje. Povećana koncentracija litofiza u andezitima je verovatnija u višim, pripovršinskim nivoima terena, jer se tu mogu očekivati džepovi zaostalih gasova u lavi i znatno su niži litostatčki pritisci. Samim tim, vulkanske mase koje su duboko erodovane, manje su perspektivne u pogledu vulkanskih ahata. U takvim sredinama, može biti povećana potencijalnost aluvijalnih nanosa.

Silifikovani andeziti su litološki član povišenog stepena perspektivnosti u pogledu juvelirskog kamena. Svaka silifikacija u andezitima normalno, nije i nalazište juvelirskog kamena. Šupljikava reliktna silicija, koja predstavlja značajan indikator rudonosti polimetalčnih ležišta u leckom vulkanskom kompleksu, pokazala se kao neperspektivna za lociranje rudnih tela juvelirskog kamena.

Izražena permeabilnost pojedinih litoloških članova koja je karakteristična za piroklastične tvorevine, na primer tufove, smatra se vrlo povoljnim litološkim obeležjem

geološke sredine u kojoj može doći do deponovanja juvelirskih mineralnih sirovina. Od interesa su, takođe, i kontakti litoloških članova različitog sastava (vulkanski izlivi i piroklastiti).

Litološki članovi leckog vulkanskog kompleksa, osim što predstavljaju smeštajnu sredinu za rudna tela juvelirskog kamena, predstavljaju i izvore silicije. Budući da se radi o kompleksu stena velike debljine, hidrotermalni rastvori su privodili u svoj sastav značajnije količine izlužene silicije, na čiji račun su formirana rudna tela ahata, jaspisa, kalcedona i drugih varijeteta juvelirskog kamena silicijskog sastava.

Na osnovu rezultata dosadašnjih istraživanja, primarna rudna tela juvelirskog kamena u leckom masivu su većim delom vezana za hornblenda andezite. Step en istraženosti kompleksa je, međutim, nedovoljan da bi viši step en njihove potencijalnosti u odnosu na druge članove vulkanskog kompleksa mogao sa sigurnošću da se utvrdi: ovo tim pre što su hornblenda andeziti najzastupljeniji litološki članovi leckog vulkanskog kompleksa te je i za očekivati da se rudna tela juvelirskih mineralnih sirovina u njima nešto češće nalaze.

Sva poznata primarna nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa nalaze se u vulkanskim stenama. Ni jedno primarno ležište nije locirano u stenama koje okružuju vulkanski kompleks. Tu mogućnost, međutim, ne treba odbaciti.

## 12.5. GEOMORFOLOŠKI KRITERIJUM

*„Na osnovu analize savremenog paleoreljefa moguće je stvoriti određene procene o povezanosti morfoloških obeležja sredine sa rudnim ležištima, koja se u njima nalaze. Geomorfološki kriterijumi se mogu primeniti za sva ležišta ali su od posebnog značaja kod traganja za nanosnim ležištima.” (Janković, 1994)*

Forme reljefa zavise od sastava i mehaničkih karakteristika rudnih tela i stena u kojima se ona nalaze, te stoga mogu biti pozitivne i negativne. Pozitivne forme reljefa nastaju u geološkim sredinama koje se karakterišu većom tvrđinom minerala koji ih

izgrađuju, te su time otpornije prema raspadanju u odnosu na okolnu sredinu. Budući da su rudna tela juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa izgrađena upravo od silicijskih minerala (kvarca, jaspisa, kalcedona, ahata...) u prirodi često grade pozitivne forme reljefa. Njihovo prepoznavanje i pravilno tumačenje je od posebnog interesa prilikom ocene mineralne potencijalnosti terena.

Nalazišta juvelirskog kamena se prema vezi sa morfološkim karakteristikama reljefa terena mogu svrstati u sledeće grupe:

- nalazišta koja nastaju u isto vreme sa reljefom terena i
- nalazišta čiji nastanak nije u vezi sa formiranjem reljefa, odnosno ne nastaju u istom procesu.

U prvu grupu nalazišta juvelirskog kamena u leckom vulkanskom kompleksu ubrajaju se nalazišta tipa mehaničkih sedimenata. Ovakva nalazišta su prisutna kako na prostoru leckog vulkanskog kompleksa, tako i u njegovoj neposrednoj okolini (istočni obodni deo vulkanskog kompleksa). Kod ocene potencijalnosti primenom geomorfološkog kriterijuma, u vezi sa pomenutom grupom nalazišta, posebnu pažnju treba posvetiti negativnim formama reljefa u rečnim dolinama, jer se njima stvaraju aluvijalna ležištima juvelirskog kamena. Značajna uloga prethodno pomenutog kriterijuma potvrđena je u slučaju grupe pojava juvelirskih mineralnih sirovina koje se nalaze u istočnom obodnom delu vulkanskog kompleksa Lece, a posebno u aluvijonu Svinjaričke reke, nalazište Pusto Šilovo, odnosno aluvijalnom nanosu Goleme reke, kao i na prostoru nalazišta u aluvijalnim nanosima Kosanice i Velike Kosanice. Među ovim nalazištima, ona koje čine pojave u istočnom obodnom delu kompleksa su od ranije poznata, dok su ostala otkrivena pri realizaciji ove disertacije. Za njihovo nalaženje je od velikog značaja bila primena geomorfološkog kriterijuma.

Drugu grupu nalazišta juvelirskog kamena čine ona čiji nastanak nije u neposrednoj vezi sa formiranjem reljefa. Njih čine hidrotermalna ležišta plemenitih minerala silicijskog sastava, predstavljena kvarcnim žicama, zonama silifikovacije, kvarcnim rifovima i dr. Ona utiču na formiranje pozitivnih formi reljefa.

Primena geomorfološkog kriterijuma moguća je kod žičnih epitermalnih ležišta, posebno kod markantnih razlomnih kvarcno-brečastih zona (npr. Rasovača), ali i kod tipičnih ahatnih/kvarcnih žica (npr. Mehane II). Osim kod epitermalnih nalazišta ovaj



kriterijum je izražen i kod teletermalnih hidrotermalnih ležišta tipa silicijskog sintera (ležište Bučumet).

Geomorfološki kriterijum kod vulkanskih ahata nije od velikog značaja, bar pri prognoziranju primarnih ležišta. Erozijom stena u kojima se nalaze može doći do njihovog nagomilavanja u vidu nanosa, posebno aluvijalnih, kao u slučaju nalazišta ahata *Agate creek* u Australiji (Zenz, 2011).

## 12.6. GEOFIZIČKI KRITERIJUM POTENCIJALNOSTI

Geološka istraživanja juvelirskih mineralnih sirovina na prostoru leckog vulkanskog kompleksa u prethodnom vremenskom periodu nisu vršena primenom geofizičkih metoda, iako bi to moglo da pruži pozitivne rezultate. Prema Jankoviću (Janković S., 1994) geofizička anomalna polja se karakterišu prisustvom intenzivnih anomalija, koje mogu biti posledica prisustva određene stenske mase ili ležišta odnosno mineralizacije, čija se fizička svojstva oštro odvajaju od fona okolnih stena. Prema Aristovu (Aristov, 1975 iz Janković, 1994), geofizičke anomalije juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa, mogle bi da budu svrstane u složene geofizičke anomalije. Takve vrste geofizičkih anomalija su uslovljene geološkim strukturama ili magmatskim telima, sa kojima su genetski ili paragenetski vezana rudna ležišta. U slučaju juvelirskih mineralnih sirovina u leckom masivu, hidrotermalna ležišta su u vezi sa geološkim strukturama.

Jedno od fizičkih svojstava po kome se silicijska rudna tela juvelirskog kamena razlikuju od fona okolnih stena, jeste njihova specifična električna otpornost. Geoelektrično sondiranje bi zato bila prikladna geofizička metoda istraživanja za ovu vrstu juvelirske mineralne sirovine, koju čine silicijski minerali (kvarc, kalcedon), a koji poseduju veću specifičnu električnu otpornost u odnosu na okružujuće stenske mase. Primena geofizičkih metoda pri istraživanju ležišta juvelirskog kamena dala je dobre rezultate na primeru ležišta Kozje brdo – rudno telo KB/I (Miladinović Z., 2005).

U uslovima jako pošumljenih terena koji su karakteristični za područje leckog vulkanskog kompleksa, geofizički kriterijum potencijalnosti može biti od posebnog interesa

ako se kombinuje sa drugim kriterijumima (strukturni, geomorfološki). Tako na primer, kada se koristi u zajednici sa geomorfološkim kriterijumom, izdvojena perspektivna forma reljefa može se proveriti geofizičkim ispitivanjima i na taj način pravilno odrediti njena perspektivnost.

Na području leckog kompleksa, geofizički kriterijum nažalost nije korišćen. U slučajevima kada se radi o lokalnim anomalnim geofizičkim poljima ovaj kriterijum može biti posmatran i kao indikator rudonosti.

## 12.7. INDIKATORI RUDONOSTI

Izučavanje indikatora rudonosti je od posebne važnosti u procesu traganja za juvelirskim mineralnim sirovinama i oceni potencijalnosti terena koji se prospektuje. U slučaju leckog vulkanskog kompleksa, od posebnog interesa su: izdanci juvelirskog kamena, mehanički oreoli rasejavanja, stari rudarski radovi i jalovišta i metasomatske izmene okolnih stena rudnih tela (hidrotermalne alteracije).

*Izdanci juvelirskog kamena.* — Pojavljivanje mineralizacije na površini terena je nesumnjivo najočitiiji dokaz njenog prisustva (Janković S., 1994). Takav je slučaj i sa juvelirskim kamenom leckog vulkanskog kompleksa. Budući da se radi o juvelirskoj mineralnoj sirovini silicijskog sastava koja je zbog svoje izrazite tvrdine izuzetno otporna na procese erozije, ova vrsta indikacije rudonosti je veoma značajna.

U procesu traganja za juvelirskim mineralnim resursima na području leckog vulkanskog kompleksa, izdanci su izdvojeni u dve grupe: prirodne i veštačke (antropogene). Saglasno stavovima Aristova (Aristov V., 1975) prirodni izdanci su tretirani kao: praktično nepromenjeni, delimično promenjeni i znatno promenjeni. Daleko najveći broj izdanaka svrstan je u grupu praktično nepromenjenih. Njihove osnovne karakteristike bile su visok stepen očuvanosti (stabilnost u egzogenim uslovima) i sposobnost formiranja mehaničkih oreola rasejavanja. Ova karakteristika proizilazi iz njihovog hemijskog i mineralnog sastava.

Među veštačkim izdancima juvelirskog kamena na prostoru leckog vulkanskog kompleksa od posebnog značaja bili su useci puteva i nenasuti planinski putevi. Od značaja je bilo i postojanje tzv. "pozajmišta" odnosno malih kamenoloma iz kojih je korišćen materijal za nasipanje lokalnih puteva. Novo nalazište juvelirskog kamena (Put za Vlasovo) otkriveno je upravo zahvaljujući postojanju takvog veštačkog izdanka (kamenolom).

Prirodni izdanci juvelirskog kamena na prostoru leckog vulkanskog kompleksa prevashodno se nalaze na mestima izraženije erozije, odnosno na vrhovima brda, grebenima i na strmijim padinama. U nižim delovima terena izdanci su često prekriveni odlomcima vulkanskih stena i tefre. Vrlo značajan indikator rudonosnosti bila je jaka izdanačka zona nad epitermalnim ahatnim žicama na osnovu koje je pronađeno nalazište Mehane II.

Zbog specifičnosti juvelirskih mineralnih sirovina, granicu između rudnih izdanaka i pojava juvelirskog kamena manjih razmera teško je povući. Odlučujući kriterijum tokom istraživanja koja su sprovedena za potrebe izrade disertacije, predstavljao je, pored njihove veličine, kvalitet mineralne sirovine. Na osnovu tog kriterijuma, prema ranijim autorima izdvojeno nalazište juvelirskih mineralnih sirovina Čvorović, preklasifikovano je u izdanke odnosno indikatore rudonosnosti. Pomenuti izdanci su, iako, malih razmera i nedovoljno izučenog kvaliteta, korišćeni tokom prognozne ocene mineralne potencijalnosti. Svi izdanci, koje su tokom prospekcije juvelirskih mineralnih resursa na području leckog kompleksa pronađeni, prikazani su na prognoznoj karti potencijalnosti (Sveti Petar, Čvorović, Drence, Tupale, Petrova gora i dr.).

*Mehanički oreoli rasejavanja. — „Prilikom mehaničkog razaranja rudnog izdanka i primarnog oreola obrazuju se čestice i krupniji komadi, koji će se delom zadržati u domenu rastresitog eluvijalno-deluvijalnog nanosa, a delom će biti rasejani po hidrografskoj mreži.” (Janković S., 1994)*

Mehanički oreoli rasejavanja su značajni indikatori rudonosnosti juvelirskih mineralnih sirovina u leckom vulkanskom kompleksu. Prema veličini mehaničkih odlomaka, ubrajaju se u grupu oreola u kojima preovlađuje krupna frakcija (od 1,0 cm do nekoliko dcm), odnosno rudni valuci (Janković S., 1994). Osim njih, u oreolima je prisutna i sitna frakcija plemenitih minerala, ali je njen značaj ograničen.

Izučavanje mehaničkih oreola rasejavanja je često korišćen metod geološke prospekcije juvelirskih mineralnih sirovina na prostoru leckog vulkanskog kompleksa – kako primarnih, tako i sekundarnih rudnih koncentracija. Njenom primenom pronađeno je

više nalazišta i izdanaka juvelirskog kamena: aluvijalni nanosi Kosanice i Velike Kosanice, deluvijalni nanos na Svetom Petru, i nalazište žičnih ahata Mehane II.

*Stari rudarski radovi.* — Ostaci starih rudarskih radova su značajni faktori rudonosti (*Janković S.*, 1994). Na prostoru leckog vulkanskog kompleksa potiču iz srednjeg veka i antičkog perioda. Najvećim delom su rađeni za potrebe istraživanja i eksploatacije ležišta plemenitih metala (Au, Ag), ležišta polimetala (Pb, Zn, Cu) (najverovatnije u srednjem veku), ali, moguće, i na žicama ametista i ahata na području Rasovače. Pretpostavlja se da je ahat sa ovog područja korišćen za izradu mozaika u Caričinom gradu (Justinijana Prima). O eksploataciji i korišćenju ahata svedoče i stara jalovišta u podnožju Rasovače u kojima se mogu pronaći sitni odlomci tog plemenitog minerala, odnosno lokaliteti na kojima je vršena primarna separacija rudnog materijala i početna obrada juvelirskih sirovina usitnjavanjem. Postoji mogućnost da se zlato nalazilo u asocijaciji sa ametistom, te da je vršena njihova jednovremena eksploatacija. Ametist sa ovog područja je verovatno korišćen za izradu nakita i ukrasnih predmeta.

Stari rudarski radovi (potkopi, svrtnevi i pinge) su najbrojniji na širem prostoru rudnika Lece i na području Đavolje varoši, u centralnim delovima vulkanskog kompleksa. Za prospekciju juvelirskih mineralnih sirovina od posebnog interesa bili su radovi koji se nalaze na širem području ležišta Rasovača. Zahvaljujući njima po pružanju je prosleđena mineralizacije ametista i ahata u kvarcno-brečastoj zoni. Starim rudarskim radovima na području leckog vulkanskog kompleksa uglavnom je prosleđena rudna mineralizacija koja se nalazi na relativno malim dubinama od površine terena na kojoj se nalazi i najznačajniji deo rudne mineralizacije što utiče na porast njihovog značaja.

*Hidrotermalne alteracije.* — Kod ocene mineralne potencijalnosti i prognoze prisustva rudnih ležišta uočavanje i pravilno tumačenje hidrotermalnih promena okolnih stena nastalih pod uticajem rudonosnih fluida je od velikog interesa. Međutim, kod juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa još uvek nije utvrđena nijedna specifična veza sa određenom hidrotermalnom alteracijom. Kao najznačajnija hidrotermalna alteracija izdvaja se silifikacija, koja se javlja kao prateća promena kod hidrotermalnih, posebno žičnih i kvarcno-brečastih ležišta juvelirskog kamena. Međutim, silifikacija je prisutna i kod mnogih, u pogledu juvelirskog kamena, jalovih zona. Šupljikava silicija koja je vrlo značajan indikator orudnjenja pri traganju za polimetalnim i plemenitim metalima je „negativan indikator“ nalazišta juvelirskog kamena.

Prema Karamati, dominantne hidrotermalne promene u leckom vulkanskom kompleksu su kalijska metasomatoza, silifikacija, kaolinizacija i sericitizacija (Karamata S., 1971). Simić i Radulović (Simić i Radulović, 2005) izdvajaju sledeće vidove značajnih hidrotermalnih alteracija u leckom masivu: silifikaciju, sericitizaciju, argilitizaciju, i piritizaciju, a, nešto ređe i hloritizaciju, epidotizaciju, karbonatizaciju, biotitizaciju, grajzenizaciju i turmalinizaciju. Janković i dr. (Janković i dr., 1992) izdvajaju i kvarcno-alunitsku alteraciju kao značajnu za epitermalnu mineralizaciju zlata.

Iako nije utvrđena direktna veza između određene hidrotermalne alteracije i hidrotermalnih ležišta juvelirskih mineralnih sirovina, prisustvo alteracija na području vulkanskog kompleksa, a posebno silifikaciju, tretirana je kao pozitivan faktor koji ukazuje na prisustvo hidrotermalnih procesa. Pri izradi prognozne ocene potencijalnosti juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa područja u kojima su utvrđene hidrotermalne alteracije smo smatrali perspektivnijim u odnosu na ona područja u kojima alteracije nisu utvrđene.

## 12.8. MINERAGENETSKA REONIZACIJA

*„Ispitivanjem litološkog sastava masiva, njegovog tektonskog sklopa i metalogenije dobijeni su rezultati koji ukazuju na činjenicu da lecki andezitski masiv, posmatran u celini, predstavlja sasvim izolovanu geološko-tektonsku i metalogenetsku jedinicu u južnom delu Srbije.“ (Pešut, 1976)*

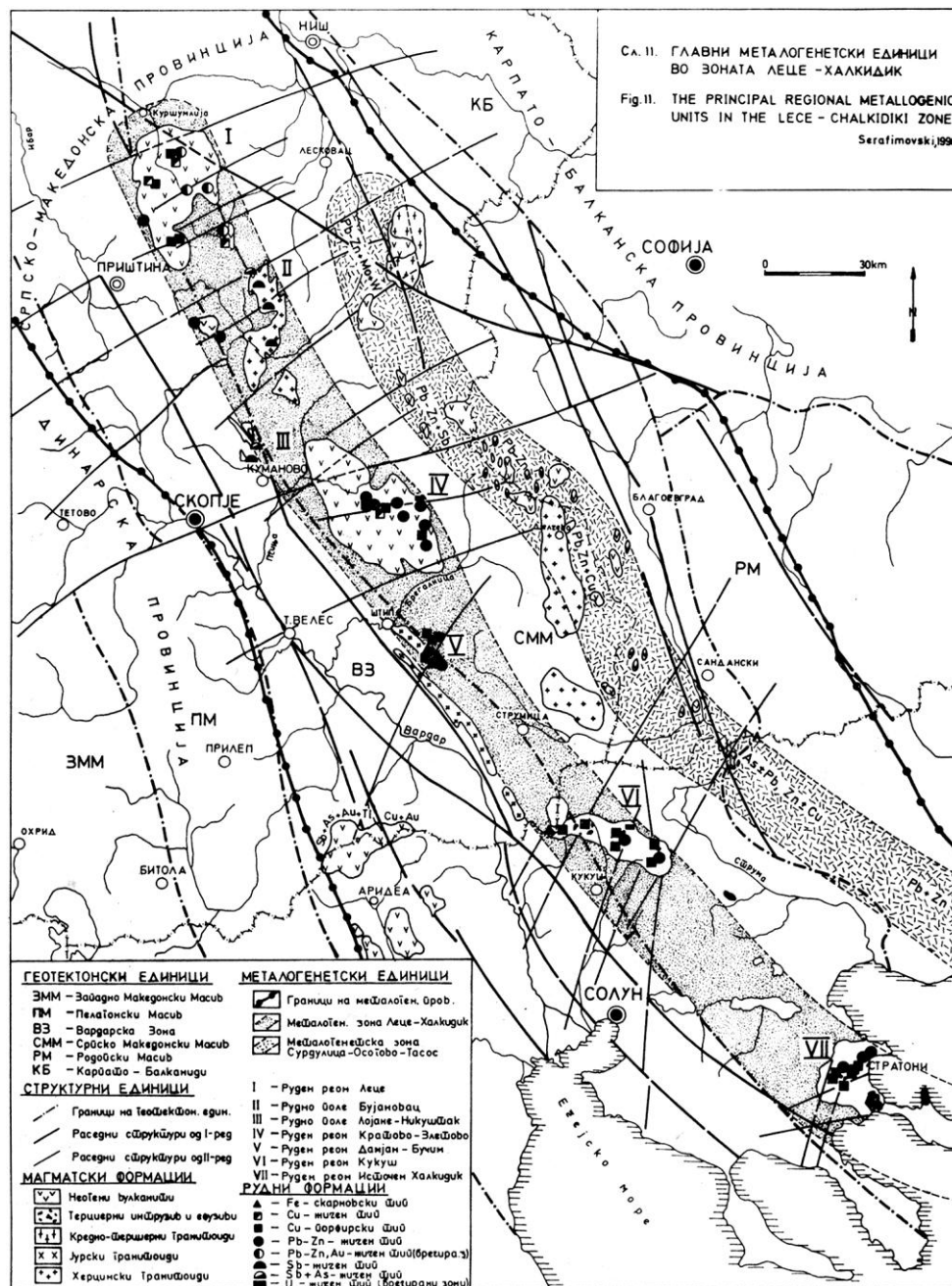
Rudni rejon Lece je sastavni deo metalogenetske (mineragenetske) zone Lece-Halkidik, odnosno Srpsko-makedonske metalogenetske provincije (Janković, 1990; Serafimovski, 1993) (slika 97).

Mineralne sirovine rudnog reiona Lece nastale su u prostornoj i (para) genetskoj sa istoimenim intermedijarnim kalko-alkalnim vulkanogeno-intruzivnim kompleksom tercijarne starosti. Na današnjem erozionom nivou, vulkanizam je dominantno predstavljen andezitima i njihovim piroklastitima, podređeno dacitima, latitima, trahitima i andezit-bazaltima. Vulkanizam je pretežno eksplozivno-efuzivnog karaktera. Ležišta i pojave metaličnih (Pb, Zn, Cu, Au, Ag i dr.) i juvelirskih mineralnih sirovina na ovom prostoru su

u velikoj meri kontrolisana položajem lineamentnih struktura različitih karakteristika i orijentacije, kao i strukturama vulkanskih aparata.

Osnovni problem pri sprovođenju detaljnije mineragenetske reonizacije juvelirskih mineralnih sirovina rudnog rejona Leca bio je nizak stepen njegove geološke istraženosti i proučenosti. Kao što je ranije već naglašeno, pre prospekcijskih radova koji su sprovedeni tokom realizacije ove studije, nalazišta juvelirskog kamena bila su poznata samo u krajnjem jugoistočnom delu leckog vulkanskog masiva, kao i u geološkim tvorevinama koje se nalaze na kontaktu sa njegovim istočnim obodnim delom. Sprovedena istraživanja su bila pozitivna, jer je njima pronađeno više nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina u drugim delovima kompleksa za koje se do tada nije znalo. Obim sprovedenih radova, nažalost, nije dovoljan za potpuno sagledavanje mineragenije ovog kompleksa, tako i da izvedeni zaključci predstavljaju preliminarne rezultate istraživanja koji će u budućnosti verovatno pretrpeti promene.

Drugi problem pri rejonizaciji ogledao se u specifičnost same mineralne sirovine. Jasne granice između ležišta i pojava juvelirskih mineralnih sirovina nije jednostavno uspostaviti. Ako se prihvati činjenica da je ležište mineralnih sirovina mineragenetska (metalogenetska) jedinica najnižeg reda, tada izdvajanje rudnih polja kao prve sledeće jedinice izdvojene u taksonometrijski višem nivou, podrazumeva prisustvo ležišta u rudnom polju. U disertaciji je za izdvajanje rudnih polja prihvaćeno da u konturama rudnih polja mora da postoji makar jedno nalazište, na kojem bi bez daljih istražnih radova moglo da se otpočne sa ekonomski isplativom eksploatacijom. Tu grupu nalazišta čine: Rasovača, Bučumet, Kameno rebro, Vrtače, aluvijalni nanos Svinjaričkog potoka, Mehane II.



Slika 97. Položaj Rudnog reona Lece u Lece-Halkidiki mineragenetsko zoni i njihov odnos prema okolnim mineragenetskim jedinicama (Serafimovski T., 1993)

Pod terminom "nalazište juvelirskih mineralnih sirovina" tretirana su kako ležišta, tako i pojave juvelirskog kamena. Međutim, za mineragenetsku reonizaciju, kao i za prognozu potencijalnosti bilo je važno da se napravi razlika između pojava (sa stanovišta stepena izvršenih geološko-istražnih radova) kod kojih je ekonomski isplativa eksploatacija skoro pouzdano izvesna, i onih pojava kod kojih su neophodni dalji geološki istražni radovi kako bi bila definisana u geološkom i ekonomskom smislu. Zbog toga je kao nalazište tretirano orudnjenje (bez obzira da li se radi o ležištu ili pojavi, sa klasičnog stanovišta

definisanja ležišta) koje se može odmah eksploatirati, i na taj način se prema njemu odredilo kao prema ležištu. S druge strane, pojavom su smatrana sva druga orudnjenja kod kojih su neophodna dalja istraživanja da bi se, u slučaju dobijanja pozitivnih rezultata, ista mogla eksploatirati sa pozitivnim ekonomskim efektima. U nalazišta smo dakle svrstali sva orudnjenja koja se sa stanovišta juvelirskih mineralnih sirovina mogu smatrati ležištem. U pojave smo svrstali ona orudnjenja čiji kvalitet odgovara kvalitetu juvelirske mineralne sirovine, ali njihova veličina još uvek nije dovoljno poznata, da bi se mogla smatrati ležištem odnosno nalazištem.

Kao izdanci, odnosno indikatori rudonosnosti, podrazumevana su orudnjenja čiji je kvalitet, bez obzira na veličinu analiziranog geološkog objekta, nedovoljno izučen. Sa aspekta prognozne mineragenetske ocene, korisno je da svi podaci geoloških istraživanja, uključujući podatke o izdancima i izdanačkim zonama, budu prikazani na prognoznoj karti.

Ako se prethodno pomenute specifičnosti vezane za definisanje pojma ležišta i pojava juvelirskih mineralnih sirovina uzmu u obzir i prihvate kao polazna osnova za dalja razmatranja, rudna polja mogu da se tretiraju kao prostori u kojima se koncentrišu jedinstveni tipovi orudnjenja, čija je pozicija kontrolisana specifičnostima strukturne i geološke građe tog prostora. Kao i kod svih drugih mineralnih sirovina u okviru rudnog polja juvelirskog kamena mora postojati orudnjenje čija je eksploatacija ekonomski opravdana, odnosno mora sadržavati ležište.

Na osnovu gorepomenutog i na ranije utvrđenim karakteristikama orudnjenja juvelirskih mineralnih sirovina izdvojili smo sledeća rudna polja juvelirskih mineralnih sirovina u okviru leckog rudnog reona (prilog 1):

- rudno polje Rasovača,
- rudno polje Bučumet,
- rudno polje Mehane,
- rudno polje Caričin grad.

Njihove karakteristike prikazane su u tekstu koji sledi.

*Rudno polje Rasovača* zahvata prostor u kome se nalaze juvelirski mineralni resursi dominantnog hidrotermalnog tipa orudnjenja. Njegov položaj je kontrolisan markantnom kvarcno-brečastom zonom Šuta-Rasovača, pružanja SSZ-JJI, i rudonosnom strukturom Jezerina; istog pružanja je i rudonosna Žica 2. Osim primarnih nalazišta juvelirskog kamena u jako brečiziranim razlomnim strukturama, nalazi se i pojava juvelirskih sirovina čije je



stvaranje vezano sa razaranjem primarnih rudnih tela. To su žica i sočiva juvelirskog kamena u akumulacijama eluvijalno-proluvijalnog tipa (pojava Andrići). Ova pojava je sastavni deo ležišta juvelirskog kamena Rasovača. Posmatrano na prethodno opisani način, ležište Rasovača obuhvata niz orudnjenja lokalizovanih duž ranije pomenutih razlomnih struktura. Sve pojave se nalaze u intenzivno brečiziranim i silifikovanim andezitskim stenama.

*Rudno polje Bučumet.* U ovom rudnom polju je utvrđeno prisustvo tri ležišta silicijskog sintera: Bučumet, Kameno rebro i Vrtače. Njemu pripada i izdanačka zona Čvorović. U svim lokalitetima se nalazi istu vrsta mineralne sirovine, odnosno kalcedon i jaspis. Plemeniti minerali su nastali kao posledica izlivanja hidrotermalnih rastvora na površinu terena u formi toplih izvora i gejzera.

Sva nalazišta osim Kamenog rebra sadrže primarna rudna tela kao i eluvijalne i deluvijalne nanose juvelirskog kamena. Nalazište Kameno rebro je tretirano kao deluvijalni nanos nastao razaranjem primarnih rudnih tela na Bučumetu i predstavlja njegov sastavni deo. Do diskontinuiteta u prostiranju došlo je zbog ljudske aktivnosti (obrađive površine, domaćinstva sa okućnicom). Položaj primarnih rudnih tela u prostoru kontrolisan je strukturama sekundarnog vulkanskog centra (Bučumet). Bučumetsko nalazište je nastalo u domenu dovodnog kanala ovog vulkanskog centra, dok su Vrtače i Čvorovići verovatno kontrolisani prstenasto-radijalnim strukturama.

Rudna polja Rasovača i Bučumet su kontrolisana Tupalskom dislokacijom koja je omogućila prodiranje magme i formiranje vulkanskog centra Bučumet, a takođe je odgovorna i za stvaranje markantne kvarcno-brečaste zone Šuta-Rasovača.

*Rudno polje Mehane* obuhvata nalazište epitermalnih žičnih ahata Mehane II i pojavu Mehane I koja, najverovatnije, predstavlja eluvijalni nanos formiran iznad primarnog rudnog tela hidrotermalnog tipa koji je prekriven površinskim pokrivačem. Na prostoru rudnog polja su poznata i dva izdanka juvelirskih mineralnih sirovina koja ukazuju na povećanu perspektivnost ovog rudnog polja.

Sva rudna tela u rudnom polju Mehane se nalaze u domenu istoimenog vulkanskog centra i kontrolisana su prstenasto-radijalnim strukturama. Smeštena su kako u andezitima, tako i u njihovim piroklastičnim tvorevinama (uglavnom vulkanskim brečama). Strukture vulkanskog aparata Mehane su značajno poremetile kalderu Đavolja Varoš II, i u potpunosti razorile njen SZ deo.

*Rudno polje Caričin grad* zahvata prostor u kome se nalaze nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina koja pripadaju klasi ležišta mehaničkih sedimenata. U okviru njih su izdvojeni sledeći dominantni tipovi nanosa: eluvijalni, deluvijalni i aluvijalni nanosi. Sva nalazišta se nalaze izvan vulkanskog kompleksa, u geološkim jedinicama koje istočno od vulkanita. U podlozi nanosa sa juvelirskim kamenom, nalaze se različite stene metamorfnog kompleksa Srpsko-makedonske mase i, manjim delom, sedimenti miocenske starosti.

Juvelirsku mineralnu sirovinu čine preovlađujući odlomci silicijskog sintera, što ukazuje da su postvulkanske manifestacije predstavljene gejzerima i termalnim izvorima bile intenzivne i da su na širem području izučavanih lokaliteta egzistirale u dugom vremenskom periodu.

Posmatrano sa stanovišta istraženosti, sva orudnjenja bi mogla da se tretiraju kao rudne pojave. Na osnovu do danas prikupljenih podataka, među njima se izdvaja nalazište Svinjarički potok u čijem aluvijalnom nanosu se nalaze velike količine juvelirskog kamena. Eksploatacija ovog nalazišta bi mogla odmah otpočeti. Zbog ovog nalazišta, kao i drugih pojava u istoj sredini koje se nalaze u graničnom prostoru između pojave i ležišta juvelirskih mineralnih sirovina, ova orudnjenja su tretirana ne kao grupa pojava već kao rudno polje. Dalja istraživanja pomenutog prostora treba da budu usmerena u pravcu utvrđivanja kvaliteta juvelirske sirovine, kao i daljim istražnim radovima koji bi se najbolje sproveli jednovremeno sa eksploatacijom.

Osim nalazišta Svinjarički potok u rudnom polju Caričin grad, prisutne su i sledeće pojave: Kladanci, Svinjarica-Dubrava, Caričina-Mijajlica i Sekicol. Osim ovih pojava prisutni su i brojni mehanički oreoli rasejavanja koji predstavljaju značajne indikatore rudonosnosti. Položaj ovih nalazišta je uslovljen egzogenim faktorima pa se može govoriti o egzogeno-tektonskim strukturama koje su kontrolisale njihov prostorni razmeštaj.

Osim pomenutih rudnih polja izdvojili smo i perspektivne površine koje su tretirane kao uslovna rudna polja (prilog 1). Na tim prostorima je, tokom prospekcijskih radova, utvrđeno postojanje jedne, ili više, pojava juvelirskog kamena. Istovremeno, položaj ovih pojava je kontrolisan strukturama tipa vulkanskih centara i pratećih prstenasto-radijalnih sistema. Ne postoje dovoljni kriterijumi da se ove pojave izdvoje kao rudna polja, jer se nijedno od orudnjenja ne može smatrati ležištem. Njihova eksploatacija se, na ovom stepenu istraženosti, ne može smatrati ekonomski opravdanom, iako postoje osnove za veru da se

uz malu količinu istražnih radova ove pojave mogu prevesti u kategoriju ležišta juvelirske mineralne sirovine. Sa stanovišta prognozne ocene potencijalnosti juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa, smatrali smo značajnim izdvajanje ovih perspektivnih površina. Definisane su tri perpektivne površine: Sokolov vis-Golemi krš, Đavolja varoš i Mala Vlasa.

Najznačajnija perpektivna površina, sa stanovišta brojnosti orudnjenja juvelirskog kamena je Sokolov vis-Golemi krš. Vezana je za vulkanske centre Golemog krša i Sokolovog visa. Na tom prostoru, u domenu andezitskih vulkanskih izliva koji su jednim delom silifikovani, utvrđeno je nekoliko lokacija sa manifestacijama orudnjenja koje smo izdvojili kao dve pojave – Đake i Sokolov vis. Posebno je značajna pojava vulkanskih ahata na Sokolovom visu, kao i više pojava eluvijalnog i deluvijalnog tipa u okviru nalazišta Đake. Prostorni položaj orudnjenja je najverovatnije kontrolisan strukturama vulkanskih aparata, koji su priveli hidrotermalne rastvore, ali i litološkim preduslovima u vidu prisustva šupljina u vulkanitima i njihovom poroznošću (posebno u slučaju vulkanskih ahata). Prstenasto-radialne strukture su najverovatnije bile sredine duž kojih je omogućena cirkulacija hidrotermalnih rastvora, dok je sama sredina deponovanja bila određena litološkim kontrolnim faktorom. Ova perspektivna površina se nalazi u unutrašnjem delu Đavoljevaroške megakaldere, odnosno na spoljnim obodima kaldere Đavolja varoš II. Vulkanska aktivnost na tom prostoru predstavljena je sa dva vulkanska centra – Sokolov vis i Golemi krš. Nekadašnje dno kaldere je tektonskim pokretima izdignuto.

Perspektivna površina Đavolja varoš obuhvata središnji deo kaldere Đavolja Varoš II. Za sada su na ovom prostoru od juvelirskih mineralnih sirovina poznate: pojava juvelirskog kamena Ždraljevići (kvarcno-ahatna hidrotermalna žica) i izdanačka zona, odnosno mehanički oreol rasejavanja kvarca - gorskog kristala i jaspisa. Zbog prisustva brojnih kvarcnih žica i kvarcno-brečastih zonana ovom prostoru, čija je opšta orijentacija I-Z, SI-JZ i S-J, kao i jako intenzivnih hidrotermalnih alteracija (prvenstveno silifikacije), ovaj deo vulkanskog kompleksa zaslužuje da bude izdvojen kao perspektivna površina, koju bi trebalo dalje istraživati. Kontrolni faktori koji najverovatnije utiču na lokalizaciju orudnjenja juvelirskog kamena su linearni razlomi i koncentrično-radialne strukture vulkanskog aparata.

Perspektivna površina Mala Vlasa je vezana za severoistočni deo vulkanskog kompleksa, koji spada među najslabije istražene. Ova perspektivna površina je izdvojena zbog veze pojave vulkanskih ahata (Put za Vlasovo) sa vulkanskim centrom Mala Vlasa,

koja dominira ovim delom terena. Do formiranja ove pojave verovatno je došlo na spoljnim delovima prstenasto-radijalnih struktura vulkanskog aparata Mala Vlasa. Kontrolni faktori lokalizacije su slični pojavi vulkanskih ahata Sokolov vis (kontrola strukturno-litološkog tipa).

## 12.9. PROGNOZNA OCENA POTENCIJALNOSTI

Procesi prognoze, osim rudnih ležišta, obuhvataju i krupnije metalogenetske jedinice (Janković S., 1994). U metalogenetskim jedinicama krupnijim od ležišta i rudnog polja, kakav je slučaj sa rudnim reonom Lece, krajnji cilj je izdvajanje manjih površina sa povišenim stepenom perspektivnosti u pogledu orudnjenja. Izdvajanje ovakvih površina treba da omogući da dalja traganja za ležištima juvelirskog kamena budu što efikasnija. Sa tim ciljem je izvršeno izdvajanje perspektivnih površina prilikom prognozne ocene potencijalnosti juvelirskih mineralnih resursa leckog vulkanskog kompleksa, odnosno rudnog reona Lece.

Kriterijumi koje su korišćeni prilikom za prognozne ocene potencijalnosti, slični su kriterijumima prognoze ahatnih mineralizacija koje izdvaja Rundkvist (Rundkvist D.V., 1986). On kriterijume deli na regionalne i lokalne. U regionalne ubraja geotektonske, strukturne i formacione, dok u lokalne svrstava vulkansko-tektonske, geofizičke, petrološke i tipove metasomatskih izmena.

Regionalni kriterijumi se zasnivaju na podacima istraživanja/proučavanja opštih zakonomernosti lokalizacije ahatonosnih oblasti u svetu (brazilskih, urugvajskih, zakavkaskih, i timanskih nalazišta ahata), dok se lokalni kriterijumi baziraju na podacima konkretnih/specifičnih geoloških prilika timanskih i zakavkaskih ležišta ahata. Rundkvist detaljnije razmatra kriterijume prognozne ocene ahatnih mineralizacija samo timanskog i zakavkaskog tipa.

Juvelirskom kamenu leckog vulkanskog kompleksa, odgovara zakavkaski tip ahata, koji se nalazi u andezitima, andezit-bazaltima i njihovim piroklastičnim tvorevinama. Regionalni kriterijumi prognoze za pomenuti tip ahata, u slučaju leckog vulkanskog

kompleksa odgovaraju magmatogenom i, delom, strukturnom kriterijumu. Lokalnim kriterijumima u našim uslovima odgovaraju: strukturni (Rundkvistov vulkansko-tektonski), i litološki (Rundkvistov petrološki). Metasomatski preobražaji odnosno alteracije su tretirani kao indikatori orudnjenja.

Prognozna ocena juvelirskih mineralnih resursa leckog kompleksa je prikazana u vidu prognozne karte, koja na najbolji način odslikava njegovu potencijalnost (prilog 2).

Prognozna karta potencijalnosti juvelirskih mineralnih resursa leckog vulkanskog kompleksa, izrađena je na osnovu analize svih raspoloživih podataka, a posebno analize kriterijuma potencijalnosti, odnosno rudonosnosti i indikatora rudonosnosti, koji su prikazani u prethodnom poglavlju. Ovakav vid ocene potencijalnosti se zasniva na tradicionalnim mineragenetskim kriterijumima baziranim na geološkim pokazateljima prognozne ocene. Kod ovakvog pristupa, izdvajanje perspektivnih površina se zasniva na geološko-mineragenetskim parametrima (*Janković S.*, 1994). Razmera prognozne karte određena je na bazi veličine metalogenetske jedinice koja je bila predmet prognoze, a koju čini rudni reon Leca. Radi se o prognoznoj karti srednjih razmera kojom se uglavnom obuhvataju rudni reoni i čine ih razmere od 1:200.000 do 1:50.000 – u slučaju analiziranog prostora 1:100.000. Geološka osnova prognozne karte bazirana je na podacima Osnovne geološke karte SFR Jugoslavije 1:100.000, listovi – Kuršumlja, Niš, Leskovac i Podujevo.

Na osnovu analize kriterijuma potencijalnosti i indikatora rudonosnosti, koji su obrađeni u prethodnom poglavlju, izdvojene su površine 5 (pet) različitih nivoa perspektivnosti:

- 1) visoko perpektivne površine;
- 2) perpektivne površine;
- 3) mineragenetski interesantne površine;
- 4) površine sa nejasno izraženom potencijalnošću i
- 5) neperspektivne površine (uslovno).

*Visoko perpektivne površine* izdvojene su na osnovu više pozitivnih kriterijuma potencijalnosti (magmatogeni, strukturni, litološki, geomorfološki) i indikatora rudonosnosti (rudnih izdanci, mehanički oreoli rasejavanja, hidrotermalne alteracije – silifikacija). Pored toga, preduslov za njihovo izdvajanje bilo je prisustvo poznatih ležišta juvelirskih mineralnih sirovina, odnosno nalazišta na tom prostoru, kod kojih se pri trenutnom stepenu istraženosti može odmah otpočeti sa eksploatacijom. Naravno, osim

ležišta, ove perspektivne površine sadrže i pojave juvelirskog kamena. Visoko perspektivne površine se u najvećoj meri preklapaju sa izdvojenim mineragenetskim rudnim reonima juvelirskog kamena.

*Perspektivne površine* predstavljaju površine čiji se nivo perspektivnosti od prethodnog razlikuje jedino u izostanku ležišta juvelirskog kamena. Smatramo da ovi prostori vrlo lako, uz malo podizanje stepena istraženosti, mogu prerasti u visoko perspektivne površine odnosno rudna polja.

*Mineragenetski interesantne površine* smo izdvojili na osnovu izraženog prisustva pozitivno ocenjenih kriterijuma potencijalnosti – prvenstveno strukturnog, i indikatora rudonosnosti. Kao vrlo značajne strukture tretirane su linearne razlome i strukture vulkanskih aparata. Pored toga, za izdvajanje površina ovog nivoa perspektivnosti, bilo je neophodno da pozitivno ocenjeni kriterijumi potencijalnosti budu potvrđeni postojanjem poznatih rudnih izdanaka ili mehaničkih oreola rasejavanja.

*Površine sa nejasno izraženom potencijalnošću* čine površine na kojima su pozitivno ocenjeni kriterijumi potencijalnosti i delom indikatori rudonosnosti (hidrotermalne alteracije), ali koji nisu potvrđeni prisustvom poznatih ležišta, pojava, rudnih izdanaka ili mehaničkih oreola rasejavanja juvelirskog kamena. Ove površine obuhvataju prostore koji su slabo istraženi ali se od neperspektivnih površina razlikuju po prisustvu više pozitivno ocenjenih kriterijuma potencijalnosti.

*Neperspektivne površine* obuhvataju prostore koji su u potpunosti neistraženi sa stanovišta juvelirskih mineralnih resursa i kod kojih nisu pozitivno ocenjeni kriterijumi potencijalnosti i indikatori rudonosnosti.

Prognozna karta potencijalnosti juvelirskih mineralnih resursa leckog vulkanskog kompleksa je zasnovana na trenutnom, relativno niskom stepenu istraženosti terena. Sa nastavkom istraživanja vrlo lako se može desiti da pojedine površine promene konture, kao i nivo perspektivnosti. To se odnosi kako na perspektivne površine, tako i površine sa nižim stepenom perspektivnosti, pa čak i za prostore koji su izdvojeni kao neperspektivni.

Osim vrlo realne mogućnosti pronalazjenja novih nalazišta juvelirskog kamena u leckom vulkanskom kompleksu, realnom smatramo i mogućnost pronalazjenja novih podvarijeteta ahata, jaspisa, kalcedona, ali i još uvek neotkrivenih vrsta juvelirskog kamena na tom prostoru. Takvu, novu vrstu juvelirskog kamena, mogao bi da predstavlja plemeniti (irizirajući) opal. Nalazišta plemenitih opala u tercijarnim andezitskim stenama pronađena

su u Kanadi (*Paradis et al.* 1999). Primer ovakvog ležišta je Klinker deposit (*Simandl et al.*, 1996). Takve opale nazivaju još i hidrotermalnim ili vulkanskim opalima. Javljaju se zajedno sa običnim opalima, ahatima, kalcedonima, jaspisima, perlitima, Mn i Fe oksidima. Povoljne sredine za njihovo nalaženje predstavljale bi zone kontakta između lavičnih izliva i piroklastičnih slojeva, odnosno otvoreni prostori u kojima se nalaze u vidu nagomilanja i vidu impregnacija. Takođe, ovu varijetet sirovine može biti lokalizovan i u masivnim vulkanskim stenama u kojima zapunjava slobodne prostore. U pomenutom slučaju, razmere orudnjenja bile bi manje. Osnovni problem kod pronalaženja ovog tipa juvelirske mineralne sirovine je što opal u izdancima na površini terena, gubi vodu, postaje krt i puca. Naravno, sa dubinom njegov kvalitet postaje viši.

Na osnovu svega izloženog može se zaključiti da je ostvareni stepen prognozne ocene na datom stepenu istraženosti zadovoljavajući i da predstavlja solidnu podlogu za usmeravanje daljih izučavanja postojećih i pronalaženja novih juvelirskih mineralnih resursa u leckom vulkanskom kompleksu, ali i u drugim područjima Srbije.

## 12.10. PROGNOZNI RESURSI JUVELIRSKIH MINERALNIH SIROVINA LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA

Kvantitativna procena prognoznih resursa juvelirskih mineralnih sirovina izvršena je na onim površinama leckog vulkanskog kompleksa koje imaju pozitivno procenjene kriterijume potencijalnosti. Takva procena prvenstveno je realizovana na rudnim poljima, koja imaju i najviši stepen istraženosti. Rudna polja su na prognoznoj karti tretirana kao visoko perspektivne površine. Osim rudnih polja, kvantitativnoj proceni prognoznih resursa podvrgnute su perspektivne i mineragenetski interesantne površine (prilog 2).

Pri proračunu prognoznih resursa juvelirskog kamena kao osnovni pokazatelj korišćen je površinski indeks rudonosnosti. Ovaj indeks je inicijalno izračunat na najbolje istraženim ležištima da bi kasnije bio modifikovan za stepen verovatnoće i primenjen na slabije istraženim površinama.

Osnovne vrednosti površinskog indeksa rudonosnosti su utvrđena u tri rudna polja: Rasovača, Bučumet i Caričin grad. Ovi indeksi se međusobno razlikuju kao posledica prisutnosti ležišta različitih genetskih tipova/podtipova.

U svakom rudnom polju, površinski indeks rudonosnosti najpre je utvrđen za najistraženije prostore u okviru rudnom polju - ležišta. Nakon toga, procenjena je površina rudnog polja na kojoj se realno mogu očekivati nova ležišta, a na osnovu analize magmatogenog, geomorfološkog, strukturnog i litološkog kriterijuma. Ta površina (10, 20, 30% od ukupne površine rudnog polja) je množena površinskim indeksom rudonosnosti utvrđenom u ležištu. Na takav način su sračunati ukupne prognozni resursi u rudnom polju. Površinski indeks rudonosnosti za dato rudno polje dobijen je podelom količine prognoznih resursa sa ukupnom površinom rudnog polja i umanjnjem za stepen verovatnoće.

Mineralni resursi juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa, u najvećoj meri, čine pretpostavljeni resursi (po novom Pravilniku o izveštavanju o rezultatima geoloških istraživanja, resursima i rezervama čvrstih mineralnih sirovina i njihovoj klasifikaciji – u štampi). U vrlo maloj meri se radi o izmerenim i indiciranim resursima, koji su rezultat proračuna rezervi pri izradi elaborata u području Leca (Pejčić i dr., 1981). Čak i tada proračunate rezerve su u najvećem procentu, prema starom Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima (Službeni list SFRJ br. 53/79), predstavljene D<sub>1</sub> i C<sub>2</sub> kategorijom (pretpostavljeni resursi), dok su rezerve C<sub>1</sub> (indicirani resursi) i B kategorije (izmereni resursi) zastupljene u vrlo niskom procentu.

U narednoj tabeli predstavljeni su proračunati prognozni resursi juvelirskih mineralnih sirovina na visoko perspektivnim (rudnim poljima), perspektivnim i mineragenetski interesantnim površinama Leckog vulkanskog kompleksa. Ukupni prognozni resursi iznose 26,65 miliona tona. Veliki deo površine vulkanskog kompleksa pripada neperspektivnim ili površinama sa nejasno izraženom potencijalnošću i u njima nisu računane prognozne rezerve. Međutim, ovakvo stanje je posledica relativno niskog stepena istraženosti. Sa daljim i detaljnijim istraživanjima vulkanskog kompleksa može se očekivati izdvajanje novih perspektivnih površina kao i pronalaženje ležišta i pojava na površinama koje su trenutno ocenjene kao neperspektivne.



Tabela 9. Prognozni resursi juvelirskih mineralnih sirovina Leckog vulkanskog kompleksa

Rudno polje/ perspektivna površina	Površina (km <sup>2</sup> )	Površinski indeks rudonosnosti (mil. t/km <sup>2</sup> )	Prognozni resursi		Ekonomski tip ležišta
			količina	klasa	
Rasovača	10	0.30	3,00	Indicirani i pretpostavljeni	Epitermalna žična
Bučumet	9	0.40	3,60	Izmereni, indicirani i pretpostavljeni	Silicijski sinteri, mehanički sedimenti
Caričin grad	28	0.15	4,20	Pretpostavljeni	Mehanički sedimenti
Mehane	11	0.25	2.75	Pretpostavljeni	Epitermalna žična
PP* Sokolov vis-Golemi krš	10	0.20	2,00	Pretpostavljeni	Vulkanski ahati, mehanički sedimenti
PP Đavolja varoš	24	0.15	3.60	Pretpostavljeni	Epitermalna žična
PP Mala Vlasi	30	0.10	3,00	Pretpostavljeni	Vulkanski ahati
Preostale perspektivne površine	25	0.07	1.75	Pretpostavljeni	Različiti
Mineragen. interes. površ.	55	0.05	2.75	Pretpostavljeni	Različiti

\* PP – Perspektivna površina

Razlozi za međusobno različite vrednosti indeksa rudonosnosti prikazani u prethodnoj tabeli, su višestruki i biće objašnjeni u narednom tekstu.

Površinski indeksi rudonosnosti u rudnim poljima Rasovača, Bučumet i Caričin grad korišćeni su kao etaloni. Različite vrednosti indeksa rudonosnosti u pomenuta tri rudna polja su posledica različite geneze i morfostrukturnih karakteristika ležišta. Metodom analogije, indeksi rudonosnosti određenog rudnog polja su primenjeni na drugim perspektivnim površinama sa sličnim karakteristikama a nižim stepenom istraženosti. Za rudno polje Mehane inicijalno je usvojena vrednost površinskog indeksa rudonosnosti proračunata za rudno polje Rasovača pošto da su u oba rudna polja zastupljena epitermalna žična ležišta. Takav površinski indeks rudonosnosti je umanjen zbog nižeg stepena istraženosti rudnog polja Mehane.

Budući da se u okviru perspektivne površine Đavolja varoš javljaju epitermalne žice kvarcnog sastava, kao polazni površinski indeks rudonosnosti iskorišćen je indeks

rudonosti Rasovače, koji je umanjen zbog činjenice da je stepen istraženosti ove površine, u pogledu juvelirskih mineralnih sirovina, prilično nizak i neravnomeran.

Za perspektivne površine Sokolov vis–Golemi krš i Mala Vlasa bilo je najteže utvrditi vrednosti indeksa rudonosti budući da su u njima zastupljeni vulkanski ahati. Nalazišta vulkanskih ahata u okviru leckog vulkanskog kompleksa nisu detaljnije istražena. Takođe, nalazišta vulkanskih ahata se karakterišu neravnomerno raspoređenim malim rudnim telima, mada se može očekivati da se javljaju na većim površinama nego žična ležišta. Zbog toga smo za vulkanske ahate usvojili nižu vrednost indeksa rudonosti u odnosu na žična ležišta, koja je dodatno umanjena i zbog nižeg stepena istraženosti. Vrednost indeksa rudonosti u perspektivnoj površini Mala Vlasa (0,10) je manja zbog nižeg stepena orudnjenosti. Na toj, prilično velikoj, perspektivnoj površini poznata je samo jedna pojava dok ih u okviru Sokolovog visa-Golemog krša, na manjoj površini, ima četiri.

Za preostale perspektivne površine leckog vulkanskog kompleksa i mineragenetski interesantne površine (prilog 2) kao polazni indeks rudonosti usvojena je najmanja vrednost određena na bolje istraženim površinama – 0.10. Ova vrednost je dodatno umanjena zbog nižeg stepena perspektivnosti i istraženosti.

Kao pomoć pri utvrđivanju vrednosti indeksa rudonosti izvršena je i kvantifikacija kriterijuma potencijalnosti u rudnim poljima i najznačajnijim perspektivnim površinama. Svaki kriterijum je procenjivan sa visokim, srednjim i nižim stepenom perspektivnosti, pri čemu je svaki stepen dobio odgovarajući indeks – visok 30, srednji 20 i niži 10. Pored kriterijuma potencijalnosti, na isti način, vršena je i procena prisutnosti orudnjenja.

**Tabela 10. Kvantifikacija kriterijuma potencijalnosti u rudnim poljima i najznačajnijim perspektivnim površinama leckog vulkanskog kompleksa.**

	Magmatogeni kriterijum	Strukturni kriterijum	Litološki kriterijum	Geomorfološki kriterijum	Prisutnost orudnjenja	Σ
Rasovača*	30	30	20	30	30	140
Bučumet*	30	20	20	30	30	130
Caričin grad*	20	20	20	30	30	120
Mehane*	30	30	20	20	30	130
Sokolov vis–Golemi krš**	30	20	20	30	20	120
Đavolja varoš**	30	30	30	20	10	120
Mala Vlasa**	30	30	20	20	10	110

\* - Rudno polje

\* - Perspektivna površina

## 13. ZAKLJUČAK

Značaj koje juvelirske mineralne sirovine u svetu imaju je velik. U prvom redu radi se o njihovom ekonomskom značaju, ali on nije i jedini. U mnogim državama juvelirski mineralni resursi se cene kao deo prirodnog nasleđa kojim ta zemlja raspolaže. U Srbiji je juvelirskim mineralnim sirovinama u prethodnom vremenskom periodu, nažalost, pridavano malo pažnje. Rezultati istraživanja izneti u ovoj disertaciji predstavljaju pokušaj da se taj nedostatak nadomesti.

Ostvareni rezultati ispitivanja su omogućili donošenje sledećih zaključaka:

1) Lecki vulkanski kompleks, u pogledu juvelirskih mineralnih resursa, predstavlja vrlo perspektivnu geološku sredinu, koja je u pogledu starosti i litološkog sastava slična drugim rudonosnim sredinama u svetu. Radi se o vulkanskom kompleksu tercijarne starosti (gornji oligocen–miocen), dominantno andezitskog sastava. Najčešći litološki članovi vulkanskog kompleksa koji predstavljaju matične stene rudnih tela juvelirskog kamena su hornblenda andeziti. Prethodno predstavlja posledicu njihove dominantne zastupljenosti u kompleksu. Osim u hornblenda andezitima, juvelirske mineralne sirovine se nalaze i u piroklastitima – vulkanskim brečama (aglomeratima) i tufovima.

2) Juvelirske mineralne sirovine leckog vulkanskog kompleksa su pretežno silicijskog mineralnog sastava. Čine ih kvarc (niskotemperaturni  $\alpha$ -kvarc), kalcedon („length-fast“ i „length-slow“) i jaspis (mešavina kvarca i kalcedona). Ranije izdvajane „opalsko-kalcedonske mase“ zapravo su izgrađene od kalcedona i kvarca, koji su nastali prekristalizacijom amorfne silicije, u procesu dijageneze silicijskih sintera. Amorfna silicija se uglavnom zapaža u vidu reliktnog opala. Broj varijeteta juvelirskog kamena je velik i predstavljen je podvarijetetima (po boji i teksturnim odlikama) kalcedona (ahat, karneol, sard, crni kalcedon, plavi kalcedon, šareni kalcedon, mahovinasti...), jaspisa (crveni, braon, slikoviti jaspis u raznim varijantama, mahovinasti, pejzažni...) i kvarca (ametist i gorski kristal).

3) Juvelirska mineralna sirovina leckog vulkanskog kompleksa predstavlja kvalitetnu sirovinu, koja se može koristiti za dobijanje nakita korišćenjem *en cabochon* obrade, gliptografije i kombinovane obrade.

4) Juvelirski mineralni resursi leckog vulkanskog kompleksa prema uslovima stvaranja pripadaju serijama endogenih i egzogenih ležišta. Seriji endogenih ležišta pripada grupa hidrotermalnih, odnosno klasa epitermalnih (kvarcno-brečaste razlomne zone i kvarne/ahatne žice) i teletermalnih ležišta (silicijski sinteri i vulkanski ahati) koja pripadaju klasi vulkanogenih. Tercijarna vulkanska aktivnost je u tesnoj prostornoj i paragenetskoj vezi sa orudnjenjima. Egzogeni ležišta su nastala razaranjem primarnih endogenih rudnih tela, a predstavljena su ležištima mehaničkih sedimenata (eluvijalni, deluvijalni, proluvijalni i aluvijalni nanosi).

5) Ekonomski tipovi ležišta juvelirskih mineralnih sirovina leckog vulkanskog kompleksa su: hidrotermalni ekonomski tip i sedimentni ekonomski tip ležišta. Na današnjem stepenu istraženosti jedino vulkanski ahati još uvek nisu ekonomski tip ležišta u leckom vulkanskom kompleksu.

6) Rudna tela juvelirskih mineralnih sirovina klasifikovana po obliku, pripadaju grupi pločastih i, u znatno manjoj meri, izometričnih. U grupi pločastih izdvojene su: rudne žice, sočiva, slojevi, žiličasta i stratiformna pločasta rudna tela, dok grupi izometričnih pripadaju manja gnezda, uglavnom prisutna kod vulkanskih ahata.

7) Stepenu istraženosti leckog vulkanskog kompleksa u pogledu juvelirskih mineralnih resursa je nizak. Istražnim radovima koji su sprovedeni tokom izrade disertacije (rekognosciranje i prospekcija), pronađeno je 8 novih nalazišta juvelirskog kamena i više novih, ranije nepoznatih podvarijeteta ahata, kalcedona i jaspisa. Rezultati terenskih istraživanja su dokaz visoke perspektivnosti leckog vulkanskog kompleksa.

8) Pri trenutnom stepenu istraženosti, u okviru leckog rudnog reona, mogu se izdvojiti sledeća rudna polja juvelirskih mineralnih sirovina: rudno polje Rasovača, rudno polje Bučumet, rudno polje Mehane i rudno polje Caričin grad.

9) Kriterijumi potencijalnosti, odnosno kontrolni faktori stvaranja i prostornog razmeštaja orudnjenja juvelirskog kamena leckog vulkanskog kompleksa su: magmatogeni, strukturni, litološki, geomorfološki i geofizički. Indikatori rudonosnosti juvelirske mineralne sirovine su: izdanci, mehanički oreoli rasejavanja, stari rudarski radovi i metasomatske izmene/hidrotermalne alteracije.

10) Od ključnog značaja za procenu potencijalnosti su tektono-magmatske strukture linearnog i prstenasto-radijalnog tipa.

11) Na bazi tradicionalnih mineragenetskih kriterijuma izrađena prognozna karta sadrži izdvojene perspektivne površine sa 5 nivoa perspektivnosti. Izvršena prognozna ocena odgovara stadijumu prospekcijskih istraživanja. Sa izvođenjem novih istražnih radova koji bi odgovarali stadijumu prethodnih i detaljnih istraživanja, ona će biti verovatno drugačija. Na osnovi do danas sprovedenih istraživanja postoje realne osnove za donošenje zaključka o visokoj perspektivnosti ovog područja u pogledu pronalaznje novih nalazišta juvelirskih mineralnih resursa.

## 14. LITERATURA

- Antonović A., Obrada nekih tipova juvelirskog kamenja – zaobljene i ravne površine, Jugoslovensko gemološko društvo, 96 str., Beograd, 2004.
- Antonović A., Malešević N., Obrada plemenitih minerala Srbije, Zbornik radova savetovanja Kamen 2000, str. 1-7, Arandjelovac, 2000.
- Akahan H., Furunob T., Miyajimac H., Yoshikawad T., Yamamoto S., Rapid wood silicification in hot spring water: an explanation of silicification of wood during the Earth's history. *Sedimentary Geology* 169(3-4), 2004, p. 219-228.
- Аристов В. В., Поиски твердых полезных ископаемых, Недра, Москва, 1975, 254 стр.
- Barić Lj., Tajder M., Mikrofiziografija petrogenih minerala, Školska knjiga, 235 str. Zagreb, 1967.
- Ballhaus C., Geeb C., Bockrath C., Greefe K., Mansfeldt T., Rhedef D., The silicification of trees in volcanic ash - an experimental study, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2012., in press, (<http://www.sciencedirect.com.proxy.kobson.nb.rs:2048/science/article/pii/S0016703712000415?v=s5>)
- Bryxina N. A., Halden N. M., Ripinen, O. I., Oscillatory Zoning in an Agate from Kazakhstan: Autocorrelation Functions and Fractal Statistics of Trace Element Distributions: *Mathematical Geology*, v. 34, no. 8, 2002, p. 915-927.
- Cissarz A., Pešut D., Izveštaj o istražnim radovima poludragog kamena u okolini rudnika Lece. FSD Geozavoda, Beograd, 1953.
- Cole J.W., Milner D.M., K.D. Spinks, Calderas and caldera structures: a review, *Earth-Science Reviews* 69, 2005, p. 1-26.
- Constantina C., Pop D., Brief overview on the SiO<sub>2</sub> varieties of gem-quality from southern Apuseni mountains (Romania), *Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series* 1, Szeged, 2003, p. 21.
- Constantina C., Moxon T., Agates from Gurasada, Southern Apuseni Mountains, Romania: an XRD and thermogravimetric study, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, October 2010, Vol. 5, No. 2, p. 89-99, published online 29. 04. 2010. at: [http://www.ubm.ro/sites/CJEES/upload/2010\\_2/Constantina.pdf](http://www.ubm.ro/sites/CJEES/upload/2010_2/Constantina.pdf).
- Corbet G., Epithermal gold for explorationists, *AIG Journal – Applied geoscientific practice and research in Australia*, pp. 1-26, 2002, <http://www.aig.asn.au/aigjournal/pdf/2002/corbett%202002-01.pdf>.
- Dimitrijević M. i dr. (karta), Vukanović M. i dr., Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije sa tumačem, list Leskovac, K 34-44, Savezni geološki zavod, Beograd, 1973., 52 str.
- Fallick A. E., Jocelyn J., Donnelly T., Guy M., Behan C., Origin of Agates in Volcanic Rocks from Scotland: *Nature*, v. 313, 1985, p. 672-674.

- Fallick, A.E., Jocelyn, J., Hamilton, P.J: Oxygen and hydrogen isotope systematics in Brazilian agates. In Rodriguez Clemente, E., Tardy, Y. (eds.): *Geochemistry and mineral formation in the earth surface*, CSIC (Madrid) and CNRS (Paris), 1987, pp 99-117. [http://books.google.rs/books?id=n6LzTcYhaXUC&pg=PA99&lpg=PA99&dq=oxygen+and+hydrogen+isotope+systematics+in+brazilian+agates&source=bl&ots=XUZ-r5FOZZ&sig=QmdwyLF-yLbLzMfOQkn3Ghsdf08&hl=sr&sa=X&ei=tEtBT\\_TQEYfAswbF1aHYBA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=oxygen%20and%20hydrogen%20isotope%20systematics%20in%20brazilian%20agates&f=false](http://books.google.rs/books?id=n6LzTcYhaXUC&pg=PA99&lpg=PA99&dq=oxygen+and+hydrogen+isotope+systematics+in+brazilian+agates&source=bl&ots=XUZ-r5FOZZ&sig=QmdwyLF-yLbLzMfOQkn3Ghsdf08&hl=sr&sa=X&ei=tEtBT_TQEYfAswbF1aHYBA&redir_esc=y#v=onepage&q=oxygen%20and%20hydrogen%20isotope%20systematics%20in%20brazilian%20agates&f=false)
- Florke O.W., Jones J.B, Schmincke H.U., A new microcrystalline silica from Gran Canaria, *Zeitschrift für Kristallographie.*, Vol. 143, 1976,156-165.
- Florke O.W., Florke U., Giese U., Moganite - a new microcrystalline silica-mineral, *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 149, 1984, p. 325-336.
- Flörke, O.W., Köhler-Herbertz, B., Langer, K. and Tönges, I. Water in microcrystalline quartz of volcanic origin: Agates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80, (1982) p. 324-333.
- Flörke O.W., Graetsch H., Martin B., Röller K., Wirth R., Nomenclature of micro- and non-crystalline silica minerals based on structure and microstructure, *Neues Jahrbuch Miner. Abh.*, Vol 163, 1991, p. 19-42.
- Fournier R.O. , The behavior of silica in hydrothermal solutions. In B.R. Berger and P.M. Bethke, Eds., *Geology and geochemistry of epithermal systems*. Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*, 2, 1985., p. 45-61.
- Gilg H.A., Morteani G., Kostitszn Z., Preinfalk C., Gatter I., Streider A.J., Genesis of agate geodes in basaltic rocks of the Serra Geral Formation (Ametista do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil): a fluid inclusion, REE, oxzgen, carbon, and Sr isotope study on basalt, quartz, and calcite, *Mineralium Deposita*, 38, 2003, p. 1009-1025.
- Götze J., Nasdala L., Kleeberg R., Wenzel M., Occurrence and distribution of “moganite” in agate/chalcedony: a combined micro-Raman, Rietveld, and cathodoluminescence study, *Contribution to Mineralogy and Petrology* 133, 1998, p. 96-105.
- Götze J., Tichomirowa M., Fuchs H., Pilot J. Sharp D.Z., Geochemistry of agates: a trace element and stable isotope study, *Chemical Geology* 175, pp. 523–541, 2001.
- Graetsch H., Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Vol. 29, Washington, 1994, p. 209-232.
- Graetsch H. A., Grünberg J. M., Microstructure of flint and other chert raw materials, *Archaeometry*, 2011, | DOI: 10.1111/j.1475-4754.2011.00610.x
- Graetsch H. A., Grünberg J. M., Microstructure of flint and other chert raw materials, Grupa autora, 1965: *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list K 34-44 Leskovac, sa Tumačem*, Savezni geološki zavod, p. 57, Beograd.
- Guidry S. A., Chafetz H. S., Factors governing subaqueous siliceous sinter precipitation in hot springs: examples from Yellowstone National Park, USA, *Sedimentology* 49, 2002, p. 1253–1267

- Guidry S. A., Chafetz H. S., Anatomy of siliceous hot springs: examples from Yellowstone National Park, Wyoming, USA, *Sedimentary Geology* 157, 2003, p. 71–106
- Hatipoglu M., Moganite and quartz inclusions in the nano-structured Anatolian fire opals from Turkey, *Journal of African Earth Sciences* 54, 2009, p. 1–21.
- Heaney P.J., Post J.E., The widespread distribution of a novel silica polymorph in microcrystalline quartz varieties, *Science* 255, 1992, 441-443.
- Heaney P.J., A proposed mechanism for the growth of chalcedony, *Contribution to Mineralogy and Petrology* 115, 1993, p. 66-74.
- Herdianita N. R., Browne P. R. L., Rodgers K. A., Campbell K. A., Mineralogical and textural changes accompanying ageing of silica sinter, *Mineralium Deposita* 35, 2000., p. 48-62.
- Hurlbut C. S. Jr., Switzer G. S., *Gemology*, A Wiley-Interscience Publication, New York, 1979., 243 p.
- Ilić M., 1998: Juvelirske mineralne sirovine i njihova nalazišta u Srbiji, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, p. 139, Beograd.
- Ilić M., Malešević N., Pejić M. i Miladinović Z., 1998: Kratak prikaz juvelirskih mineralnih sirovina Srbije. – *Vesnik Geozavoda, Geologija, hidrogeologija i inženjerska geologija*, serije A, B, knj.48, p. 169-201, Beograd.
- Ilić M., Specifičnosti juvelirskih mineralnih sirovina i njihove implikacije na istraživanje i eksploataciju ležišta ovih sirovina u Srbiji, Zbornik radova IV međunarodne naučne konferencije o površinskoj eksploataciji, Bor, 22-24 septembar, 1999, Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju, RTB Bor, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, str. 31-34, Bor, 1999.
- Ilić M., *Gemološki leksikon — Juvelirske mineralne sirovine: terminologija i nomenklatura*, Univerzitet u Beogradu — Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2001, 222 str.
- Ilić M., *Gemološki priručnik — Najvažnije identifikacione odlike plemenitih materijala*, Jugoslovensko gemološko društvo, Beograd, 2002, 100 str.
- Ilić M., Geneza i genetski tipovi ležišta juvelirskih mineralnih sirovina u leckom vulkanskom kompleksu, *Vesnik - geologija, hidrologija i inženjerska geologija*, 2004, br. 54, str. 333-345.
- Ilić M., Zlatanović G., Miladinović Z., 2003., *Godišnji izveštaj — po projektu — „Osovna geološka istraživanja juvelirskih mineralnih sirovina Srbije – Istraživanje jugoistočnog dela leckog masiva”*, Arhiv geoloških istraživanja Ministarstva za rudarstvo, životnu sredinu i prostorno planiranje, 75 str., Beograd.
- Ilić M., Miladinović Z., Nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina u sedimentima u istočnom delu leckog vulkanskog kompleksa i okolnim formacijama, IX međunarodna konferencija OMC 2010, Vrnjačka banja, 2010, str. 26-33.
- Iancu O. G., Toda D. P., Iancu G., Mineral chemistry of some agates from Gurasada (Mureş Valley, Romania), *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia*, 2009, 54 (1), p. 37–41.
- Janković S., Milovanović D. (1985): *Ekonomska geologija i osnovi ekonomike mineralnih sirovina*. - Rud.-geol. fak., ILMS, Beograd, 403 s.



- Janković S., Rudna ležišta Srbije: Regionalni metalogenetski položaj, sredine stvaranja i tipovi ležišta, Republički društveni fond za geološka istraživanja, Katedra ekonomske geologije, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1990, 760 str.
- Janković S., Milovanović D., Jelenković R., Hrković K., Ležišta i pojave zlata u Srbiji: tipovi, metalogenetske jedinice i potencijalnost, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Katedra Ekonomske geologije, Posebno izdanje br. 3, Beograd, 1992, 285 str.
- Janković S., Osvajanje resursa čvrstih mineralnih sirovina, I deo: Prognoziranje i ocena mineralne potencijalnosti: Principi i metode, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, katedra ekonomske geologije, Beograd, 1994, 566 str.
- Jelenković R., Ležišta metaličnih mineralnih sirovina, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Katedra ekonomske geologije, Beograd, 1999, 439 str.
- Jessey D. R., The Blue Chert Mine: An epithermal gold occurrence in the Long Valley Caldera, California, in Reynolds, Roberts E., and Jessey, David R., eds., Landscape Evolution at an Active Plate Margin: A field guide to the Owens Valley, CA, California Desert Studies Symposium – 2009, CA, pp. 135-139. (<http://geology.csupomona.edu/drjessey/research/blue%20Chert.pdf>)
- Jones B., Renaut R.W., Influence of thermophilic bacteria on calcite and silica precipitation in hot springs with water temperatures above 90°C: evidence from Kenya and New Zeland, Canadian Journal of Earth Sciences, 33, 1996 p. 72-83. iz *Zenž*, 2011
- Jones B., Renaut R.W., Formation of silica oncoids around geysers and hot springs at El Tatio, northern Chile, Sedimentology 44, 1997, p. 287-304.
- Jovanović M., Karajičić Lj., Karamata S. i Vukanović M., Novi pogledi na razvoj vulkanizma u području leckog andezitskog kompleksa, Geološki anali Balkanskog poluostrva, knjiga XXXVII, sv. 2, Beograd, 1972, str. 165–177,
- Jovanović M., 1975: Izveštaj o istraživanju poludragog kamena na Rasovači u toku 1974. godine. FSD Geozavoda, Beograd.
- Jovanović M., 1975.: Izveštaj o rezultatima geoloških istraživanja u leckom andezitskom masivu za 1974. godinu. FSD Geozavoda, Beograd.
- Karamata S., Petrogeneza, Univerzitet u Beogradu, Građevinska knjiga, Beograd, 1967, 323 str.
- Karamata S., Kalijska metasomatoza u području rudnika Lece, Zbornik radova Rudarsko-geološkog fakulteta za 1970. godinu, XIII, Beograd, 1971, str. 25-40.
- Киевленко Е. Я., Поиски и оценка месторождений драгоценных и поделочных камней, Недра, 1980, 166 с.
- Landrum J.T., Bennett P.C., Engel A.S., Alsina M.A., Pastén P.A., Milliken K., Partitioning geochemistry of arsenic and antimony, El Tatio Geysers Field, Chile, Applied Geochemistry 24, 2009, p. 664–676.
- Lynne, B.Y., Campbell, K.A., Moore, J., Browne, P.R.L. Origin and evolution of the Steamboat Springs siliceous sinter deposit, Nevada, U.S.A. Sedimentary Geology 210, 2008, 111-131.

- Lynne Y.B., Campbell K.A., Moore J.N. Browne P.R.L., Diagenesis of 1900-year-old siliceous sinter (opal-A to quartz) at Opal Mound, Roosevelt Ht Springs, Utah, U.S.A., *Sedimentary Geology* 179, 2005, p. 249-278.
- Lynne Y.B., Diagenesis of siliceous sinter deposits in the U.S.A. and New Zealand, Doctoral thesis, University of Auckland, 2007, 234 p.
- Ma C., Gresh J., Rossman R.G., Ulmer C.G., Vicenzi P.E., Micro-analytical study of the optical properties of rainbow and sheen obsidians, *The Canadian Mineralogist*, Vol. 39, pp. 57-71, 2001.
- Malešević M. i dr., Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije sa tumačem, list Kuršumljija, Savezni geološki zavod, K 34-31, Beograd, 1980., 55 str.
- Malešević N., Pejčić M., Seke L., 1985., Ležišta i pojave poludragog i ukrasnog kamena Srbije. – Poludrago i ukrasno kamenje Srbije, Geozavod, 57 str., Beograd.
- Malešević N., Tošović R., Kratak osvrt na tehnološke faktore geološko-ekonomske ocene ležišta juvelirskih mineralnih sirovina Srbije, IV Međunarodna izložba i savetovanje – Kamen 2003, str. 117-123, Aranđelovac, 2003.
- Malešević N., Tošović R., Tehničke karakteristike juvelirskih mineralnih sirovina leckog masiva u sklopu razmatranja tehnološkog faktora geološko-ekonomske ocene, V međunarodna izložba i savetovanje Kamen 2004, str. 105-112, Aranđelovac, 2004.
- Marković J., 1972: Geografske oblasti Socijalističke Federalne Republike Jugoslavije, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva Srbije, Beograd, 897 s.
- Matlins A., Bonanno A.C., Gem Identification Made Easy, 3rd. ed., GemStone Press, Woodstock, Vermont, 2007, 330 p.
- Miladinović Z., Geološke karakteristike i praktični značaj nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina Fruške gore, magistarska teza, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 147 s., 2005.
- Miladinović Z., Ilić M. and Simić V. (2010): Gemstone deposits of Lece volcanic complex (South Serbia). - XIX Congress of Carpathian-Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23-26th September, Abstracts volume, *Geologica Balcanica*, 39, 1-2, Sofia, 253-254.
- Moxon T., Reed J.B.S., Agate and chalcedony from igneous and sedimentary hosts aged from 13 to 3480 Ma: a cathodoluminescence study, *Mineralogical Magazine*, October 2006, Vol 70(5), pp. 485-498.
- Moxon T., Studies on Agate: Microscopy, Spectroscopy, Growth, High Temperature and Possible Origin, Terra Publications, Doncaster, UK, 2009, 96 pp.
- Müller A., Polgári M., Gucsik A., Nagy Sz., Veres M., Pál-Molnár E., Götze J., Cserháti C., Németh T., Hámor-Vidó M., Cathodoluminescent features and Raman spectroscopy of Miocene hydrothermal biomineralization embedded in cryptocrystalline silica varieties, Central Europe, Hungary, Micro-Raman spectroscopy and luminescent studies in the earth and planetary sciences, American Institute of Physics, 2009, p. 207-218.
- Nemeth, Karoly and Martin, Ulrike; *Practical Volcanology*, Geological Institute of Hungary, Budapest, 2007, 221 p.

- Neymark L.A., Amelin Y., Paces J.B., Peterman Z.E., U-Pb ages of secondary silica at Yucca Mountain, Nevada: implications for the paleohydrology of the unsaturated zone, *Applied Geochemistry*, 17., 2002, p. 709-734.
- Paradis S, Simandl G.J., Sabina A., Opal Deposits in Volcanic Sequences; Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 3, Industrial Minerals, British Columbia Ministry of Energy and Mines, 1999.  
(<http://www.empr.gov.bc.ca/MINING/GEOSCIENCE/MINERALDEPOSITPROFILES/LISTBYDEPOSITGROUP/Pages/QGemsSemipreciousStones.aspx>)
- Pabian R. K., Zarins A., Banded Agates, Origins and Inclusions, Educational Circular No. 12, University of Nebraska-Lincoln, 1994, 32 p.
- Pejčić M., 1980: Elaborat o izvršenim radovima na poludragom kamenju u području Leca. – Fond Geozavoda, Beograd.
- Pejčić M. i dr. 1981a: Elaborat o izvršenim radovima na poludragom kamenu u području Leca (radi utvrđivanja rezervi). – Fond Geozavoda, Beograd.
- Pejčić M. i dr., 1981b: Ekonomsko-tehnička analiza valorizacije poludragog kamena u području Leca. – Fond Geozavoda, Beograd.
- Pejčić M. i dr. 1982a: Glavni projekat eksploatacije i prerade poludragog kamena u području Leca. – Fond Geozavoda, Beograd.
- Pejčić M. i dr., 1982b: Investicioni program izrade objekata za preradu poludragog kamena (u području Leca). – Fond Geozavoda, Beograd.
- Pejčić M., 1980.-1981.: Elaborat o izvršenim radovima na poludragom kamenu u području Leca. FSD Geozavoda, Beograd.
- Pešut D., 1965.: Geološki sastav, tektonska struktura i metalogenija leckog masiva. Doktorska disertacija – Beograd.
- Pešut D., 1976.: Geološki sastav, tektonska struktura i metalogenija leckog masiva. *Geology, tectonics and metallogeny of Lece massif, Rasprave Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, Memoires du service geologique et geophysique, Rasprava XIV, Vol. XIV, 59 str., Beograd.*
- Петров В. П., 1969, Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла – его свойства и применение, „Наука“, Москва, 1969, 278 с.
- Potapov V.V., Povarov K.O., Guseva O.V., Mushinsky A.V., Babicheva S.M., Precipitation of Colloidal Silica in Hydrothermal Solution by Metal Cations (Kamchatka, Russia), Proceedings, Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, 2004, p .1-8.
- Rakić M. i dr., Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije sa tumačem, list Niš, K 34-32, Savezni geološki zavod, Beograd, 1973., 46 str.
- Ramović M. A., Osnovi Metalogenije, Savez inženjera i tehničara geološke struke SR Bosne i Hercegovine, Sarajevo, 1983, 190 str.

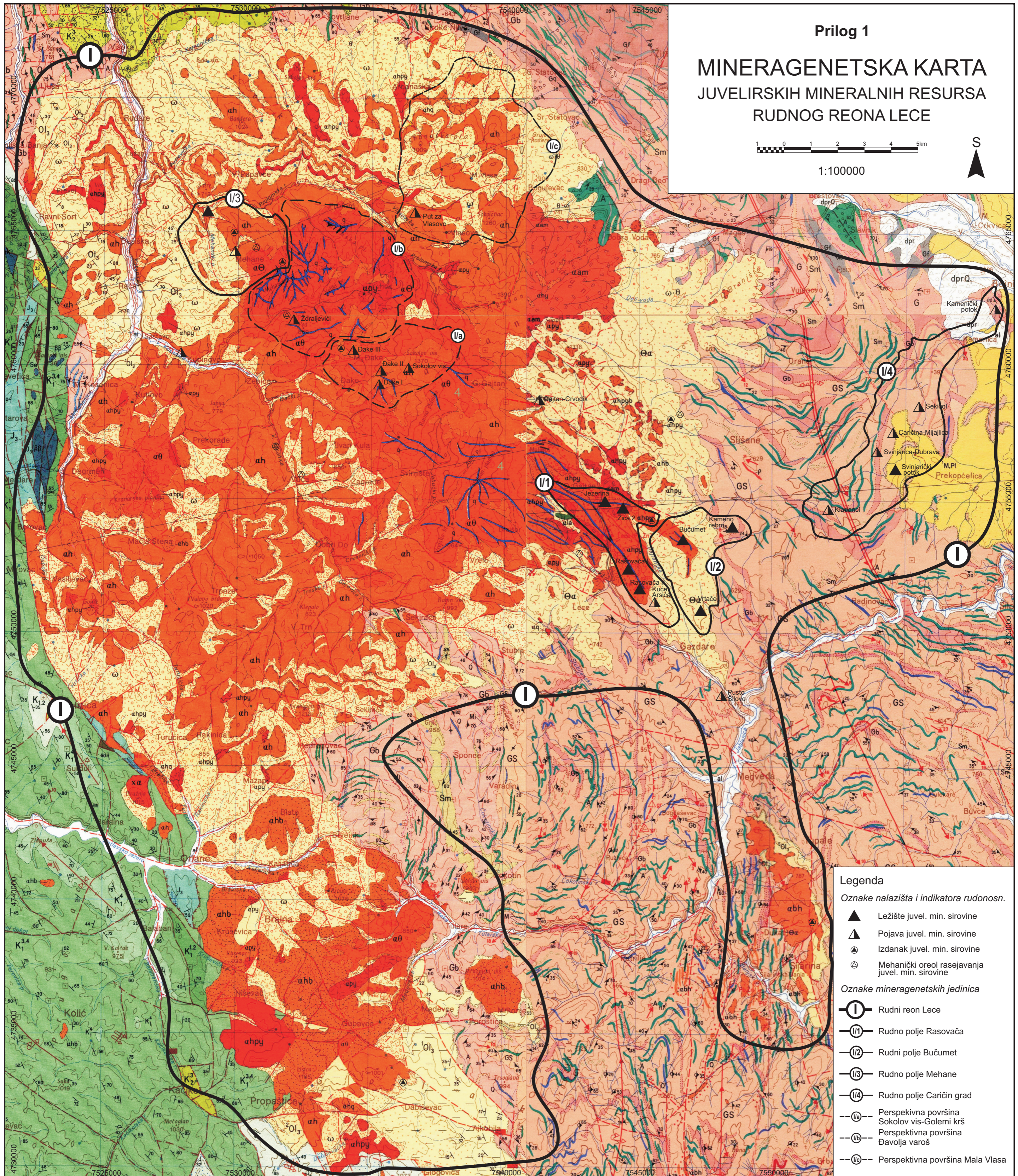
- Renaut R. W., Jones B., Tiercelin J.-J., Tarits, C., Sublacustrine precipitation of hydrothermal silica in rift lakes: evidence from Lake Baringo, central Kenya Rift Valley. *Sedimentary Geology*, 2002, 148: 235-257.
- Rodgers, K.A., Cressey G., The occurrence, detection and significance of moganite (SiO<sub>2</sub>) among some silica sinters, abstract, *Mineralogical Magazine* 65, 2001.
- Rodgers, K.A., Browne, P.R.L., Buddle, T.F., Cook, K.L., Greatrex, R.A., Hampton, W.A., Herdianita, N.R., Holland, G.R., Lynne, B.Y., Martin, R., Newton, Z., Pastars, D., Sannazarro, K.L., Teece C., Silica Phases in sinters and residues from geothermal fields of New Zealand." *Earth Science Reviews*, v. 66, 2004, p. 1-61.
- Rodgers, K. A., Hampton, W.A., Laser Raman identification of silica phases comprising microtextural components of sinters, *Mineralogical Magazine*, February 2003, Vol. 67(1), pp. 1–13.
- Рундквист Д.В., Критерији прогнозној оценки територији на тврдиx полезних ископаемых., Недра, Ленинград, 1986, стр. 601-610.
- Saunders J.A., Oxygen-isotope zonation of agates from Karoo volcanics of the Skeleton Coast, Namibia: discussion. *American Mineralogist* 75, 1990, p. 1205-1206.
- Schumann W., *Gemstones of the World*, Newly revised and expanded fourth edition, Sterling Publishing Co., Inc., New York/London, 2011, 319 p.
- Серафимовски Т., Структурно-металогенетски карактеристики на зоната Леце-Халкидик: Типови на наогашишта и реонизација, Рударско-геолошки факултет, Штип, 1993, 328 стр.
- Simandl, G.J., Hancock, K.D., Callaghan, B. Paradis, S.: Klinker precious opal deposit, south central British Columbia, Canada - Field observations and potential deposit-scale controls; *Geological Fieldwork 1996*, B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Paper 1997-1, p. 321-327.
- Simić M., Radulović B., Studija o stanju rudnih rezevi i potencijalnosti rudnika Lece, Geoinstitut, Beograd, 2005, 110 str.
- Simić V., Prognozna ocena resursa kaolinitiskih glina u sedimentnim basenima Srbije, doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 219 str., 2003.
- Stajević, B. U. (2002). Primarni geohemijski oreoli zlata u kvarcnim brečama i okolnim hidrotermalno alterisanim vulkanitima centralnog dela rudnog polja Lece. *Radovi Geoinstituta*, (37), 165-173.
- Stajević B., Projektovanje i istraživanje ležišta čvrstih mineralnih sirovina, Deo Prvi – Grafičko projektovanje i geometrizacija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Smer za istraživanje ležišta mineralnih sirovina, Beograd, 2003, 274 str.
- Stajević B., Metalogenija rudnog rejona Golije, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Doktorska disertacija, 1980, 158 str.
- Simandl J.G., Paradis S., Diakow J.L., Wojdak J.P., and Hartley J.A., Precious opal in the Whitesail Range, West-Central British Columbia, Canada (NTS 93e/10W and 93e/11E), <http://www.llbc.leg.bc.ca/public/pubdocs/bcdocs/96990/1998/simandl.pdf>

- Tošović R., Geološko-ekonomski tipovi ležišta juvelirskih mineralnih sirovina Srbije, Zbornik radova međunarodnog savetovanja Kamen '04, Komitet za površinsku eksploataciju, Arandjelovac, 2004, s. 192-198.
- Vakanjac B., 1978: O dragom, poludragom i ukrasnom kamenu kao mineralnim sirovinama, On Precious, Semi-precious and Ornamental Stones as Raw Materials, Geološki anali Balkanskog poluostrva, Knjiga XLII, Annales Géologiques de la Péninsule Balkanique, Tome XLII, p. 527-538, Beograd.
- Urošević S., Plemeniti minerali i drago kamenje, Poučnik II, Srpska književna zadruga, Grafički institut Narodna misao a.d., Beograd, 1925, 232 s.
- Vukanović M., Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije sa tumačem, list Podujevo, K 34-43, Savezni geološki zavod, Beograd, 1973., 52 str.
- Wahl C., Mische G., Fuess H., TEM Characterisation and Interpretation of Fabric and Structural Degree of Order in Microcrystalline SiO<sub>2</sub> Phases, Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 143, 2002, p. 360-365.
- Wang, Y., and Merino, E., 1995, Origin of Fibrosity and Banding in Agates from Flood Basalts: American Journal of Science, v. 295, p. 49-77.
- Yanev, Y., Todorova, S., Bardintzeff, J.-M. & Pichon, R. (1997): Andesitic obsidian from the Dambalak Oligocene volcano (Eastern Rhodopes). Comptes-Rendus Acad. Bulg. Sci., 50, 7, 41-44.
- Zenz J., Agates III, Bode Verlag, 2011, 656 pp.
- Zlatanović G., Ilić M., Miladinović Z., 2004., *Izveštaj o izvršenim osnovnim geološkim istraživanjima juvelirskih mineralnih sirovina Srbije – II faza Istraživanje jugoistočnog dela leckog masiva i Fruške gore*, Arhiv geoloških istraživanja Ministarstva za rudarstvo, životnu sredinu i prostorno planiranje, 50 str., Beograd.
- [www.quartzpage.de](http://www.quartzpage.de)
- [www.mindat.org](http://www.mindat.org)
- [www.webmineral.com](http://www.webmineral.com)
- [www.medvedja.org.rs/medvedja/index.php?option=com\\_content&view=article&id=46&Itemid=53](http://www.medvedja.org.rs/medvedja/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=53)

# MINERAGENETSKA KARTA JUVELIRSKIH MINERALNIH RESURSA RUDNOG REONA LECE



1:100000



### Legenda

#### Oznake nalazišta i indikatora rudonosn.

- ▲ Ležište juvel. min. sirovine
- ▲ Pojava juvel. min. sirovine
- ▲ Izdanak juvel. min. sirovine
- ⊙ Mehanički oreol rasejavanja juvel. min. sirovine

#### Oznake mineragenetskih jedinica

- Ⓛ Rudni reon Lece
- ⓁI Rudno polje Rasovača
- ⓁII Rudno polje Bučumet
- ⓁIII Rudno polje Mehane
- ⓁIV Rudno polje Caričin grad
- Ⓛa Perspektivna površina Sokolov vis-Golemi krš
- Ⓛb Perspektivna površina Đavolja varoš
- Ⓛc Perspektivna površina Mala Vlasa

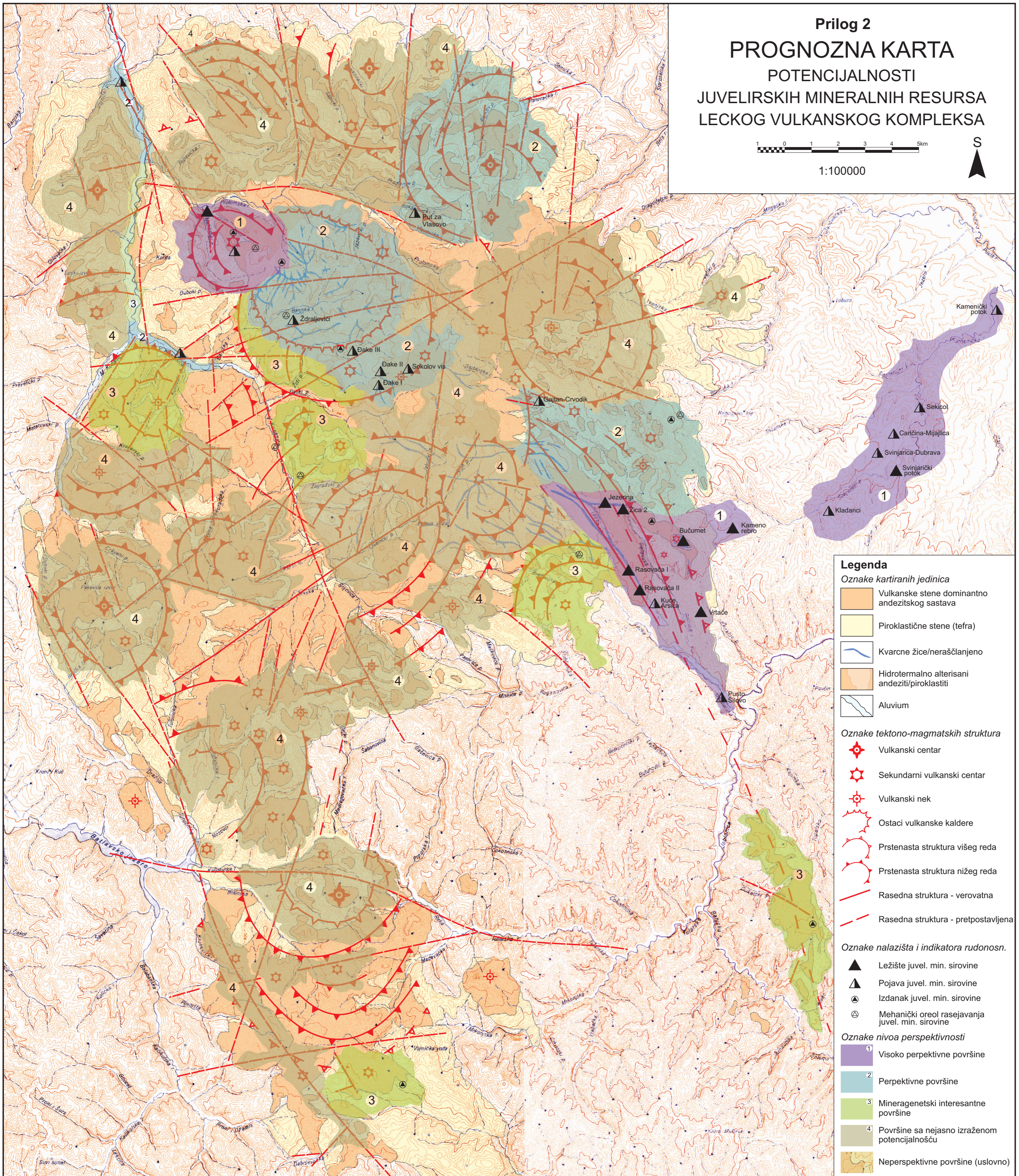


**Prilog 2**  
**PROGNOZNA KARTA**  
**POTENCIJALNOSTI**  
**JUVELIRSKIH MINERALNIH RESURSA**  
**LECKOG VULKANSKOG KOMPLEKSA**



1:100000

S



**Legenda**

- Oznake kartiranih jedinica**
- Vulkanske stene dominantno andezitskog sastava
  - Piroklastične stene (tefra)
  - Kvarcne žice/neraščlanjeno
  - Hidrotermalno alterisani andeziti/piroklastiti
  - Aluvium
- Oznake tektono-magmatskih struktura**
- Vulkanski centar
  - Sekundarni vulkanski centar
  - Vulkanski nek
  - Ostaci vulkanske kaldere
  - Prstenasta struktura višeg reda
  - Prstenasta struktura nižeg reda
  - Rasedna struktura - verovatna
  - Rasedna struktura - pretpostavljena
- Oznake nalazišta i indikatora rudonostn.**
- Ležište juvel. min. sirovine
  - Pojava juvel. min. sirovine
  - Izdanak juvel. min. sirovine
  - Mehanički oreol rasejavanja juvel. min. sirovine
- Oznake nivoa perspektivnosti**
- 1 Visoko perpektivne površine
  - 2 Perpektivne površine
  - 3 Mineragenetski interesantne površine
  - 4 Površine sa nejasno izraženom potencijalnošću
  - Neperspektivne površine (uslovno)



## BIOGRAFIJA

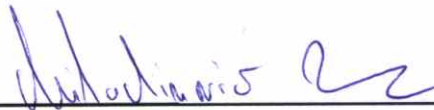
Zoran Miladinović rođen je 24. avgusta, 1968. godine u Kruševcu. U Beogradu je završio osnovnu i srednju školu, kao i Rudarsko geološki fakultet, Smer za istraživanje ležišta mineralnih sirovina. Najpre je, u kratkom periodu tokom 1996. godine, radio u „Geozavodu-IMS” iz Beograda, da bi se 20. septembra 1996. zaposlio na Rudarsko-geološkom fakultetu u Beogradu, preko Republičkog zavoda za tržište rada i bio njihov stipendista sledeće dve godine. Od 12. 05. 2000. zaposlen je, u stalnom radnom odnosu, u zvanju stručnog saradnika, na Rudarsko-geološkom fakultetu - Institutu za istraživanje ležišta mineralnih sirovina. U martu 2003. godine položio je stručni ispit za diplomiranog inženjera geologije iz oblasti istraživanja ležišta mineralnih sirovina.

Radeći na Rudarsko-geološkom fakultetu Z. Miladinović je učestvovao u realizaciji 11 naučnih i istraživačkih projekata i bio koautor i autor više izveštaja o geološkim istraživanjima. Publikovao je 30 radova u naučnim i stručnim časopisima i u zbornicima radova prezentovanih na naučno-stručnim skupovima nacionalnog i međunarodnog karaktera. Iz oblasti geologije, istraživanja i ispitivanja juvelirskih mineralnih resursa objavio je kao koautor i autor 16 radova i učestvovao na 5 istraživačkih. Zoran Miladinović je 2005. godine na Rudarsko-geološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu uspešno odbranio magistarsku tezu *Geološke karakteristike i praktični značaj nalazišta juvelirskih mineralnih sirovina Fruške gore*.

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани-а Зоран Миладиновић



број уписа 1/64 01. 03. 2006.

### Изјављујем

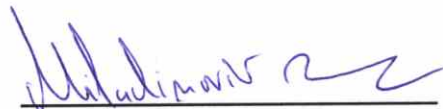
да је докторска дисертација под насловом

Минерагенетске карактеристике и потенцијалност јувелирских  
минералних ресурса лецког вулканског комплекса

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанда**

У Београду, 3. 9. 2012.



Прилог 2.

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада


Име и презиме аутора Зоран Миладиновић 

Број уписа 1/64 01. 03. 2006

Студијски програм Геологија

Наслов рада Минерагенетске карактеристике и потенцијалност јувелирских  
минералних ресурса лецког вулканског комплекса

Ментор др Раде Јеленковић, ред. проф. и др Владимир Симић, ванр. проф.

Потписани Зоран Миладиновић 

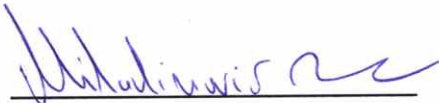
изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис докторанда**

У Београду, 3. 9. 2012.



Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Минерагенетске карактеристике и потенцијалност јувелирских  
минералних ресурса лецког вулканског комплекса

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 3. 9. 2012.

