

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Studij geologije

**ANDEZITNE VULKANSKE BOMBE U MIOCENSKIM NASLAGAMA  
RAVNE GORE U SJEVEROZAPADNOJ HRVATSKOJ**

Diplomski rad

Darko Dudjak  
G-1215

Zagreb, 2007.

Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Studij geologije

Diplomski rad

**ANDEZITNE VULKANSKE BOMBE U MIOCENSKIM NASLAGAMA  
RAVNE GORE U SJEVEROZAPADNOJ HRVATSKOJ**

DARKO DUDJAK

Rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine  
Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb

Sažetak:

U jezgri bušotine kroz donjomiocenske naslage Ravne gore kod Strupara u sjeverozapadnoj Hrvatskoj po prvi put nađene su andezitne vulkanske bombe unutar horizonata maceljskih pješčenjaka čije je glavno obilježje obilno prisustvo kemijski zrelog glaukonita.

U dubljim horizontima maceljski pješčenjaci s proslojcima sinsedimentacijskih piroklastičnih čestica izravno naliježu na masivne dacite koji predstavljaju stijene inicijalnog vulkanizma.

Kemijski zreli glaukonit izvorno je formiran na račun dacitnog piroklastičnog substrata u najranijoj fazi ekstenzije sedimentacijskog bazena i u horizontima s andezitnim vulkanskim bombama predstavlja pretaložene klaste. Kemijski nezreo glaukonitični materijal u istim horizontima predstavlja singenetsku ispunu intergranularnog prostora.

Andezitne bombe svjedoče o proksimalnoj vulkanskoj aktivnosti u fazi intenzivnog zapunjavanja bazena klastičnim materijalom iz litografski različitih izvorišnih područja.

Geokemijske karakteristike analiziranih vulkanskih bomba ukazuju na frakcionaciju plaštnih magma u plitkim razinama ekstenzijom istanjene kontinentalne kore u fazi andezitnih erupcija.

Ključne riječi: miocen, vulkanske bombe, maceljski pješčenjaci, glaukonit, perijadranski lineament, Hrvatska

Rad sadrži: 40 stranica, 2 tablice, 11 slika, 4 priloga i 38 referenci

Jezik originala: hrvatski

Rad je pohranjen u: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6

Mentori: dr.sc. Boško Lugović, izv. prof.  
dr.sc. Dunja Ajinović, doc.

Ocjenvivači: dr.sc. Boško Lugović, izv. prof.  
dr.sc. Dunja Ajinović, doc.  
dr.sc. Maja Vrkljan, izv. prof.

Datum obrane: 05. rujna, 2007.

University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Study of Geology

Bachelor of Science Thesis

## **ANDESITE VOLCANIC BOMBS IN THE MIOCENE SEDIMENTS FROM THE RAVNA GORA MT. IN THE NW CROATIA**

**DARKO DUDJAK**

Thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits  
Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb Croatia

### **Abstract:**

In a hole drilled in the Early Miocene horizons near the place Strupari at the Ravna Gora Mt. in the NW Croatia numerous volcanic bombs of andesitic composition were encountered for the first time. The bombs are embedded in the Macelj sandstone horizons abundantly containing chemically evolved glauconite.

At deeper horizons, the Macelj sandstones with sinsedimentary pyroclastic interliers directly overlie massive dacites which are interpreted as a product of initial volcanism.

Chemically evolved glauconite was originally formed at expense of dacitic pyroclastic substratum in the earliest stage of basinal extension. Within the horizons that contain andesitic volcanic bombs, glauconite appears as oversedimented clast, while chemmically immature glaucony within the same horizons represents singenetic intergranular infill.

The andesite bombs witness of proximal volcanic activity during the phase of intensive basinal filling by clastic materials from lithologically diverse sources.

Geochemical characteristic of analysed volcanic bombs suggest fractionation of mantle derived magmas in shallow levels within a relatively thin continental crust during an andesitic eruption phase.

**Key words:** Miocene, volcanic bombs, Macelj sandstones, glauconite, Periadriatic lineament, Croatia

Thesis contains: 40 pages, 2 tables, 11 figures, 4 supplement and 38 references

Language of original: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6

Supervisors: dr.sc. Boško Lugović, izv. prof.  
dr.sc. Dunja Ajinović, doc.

Reviewers: dr.sc. Boško Lugović, izv. prof.  
dr.sc. Dunja Ajinović, doc.  
dr.sc. Maja Vrkljan, izv. prof.

Thesis accepted: September 5<sup>th</sup>, 2007.

Sažetak:	i
Abstract:	ii
1. UVOD .....	1
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	3
3. GEOLOŠKA GRAĐA I TEKTONSKI ODNOŠI ŠIREG PODRUČJA.....	8
3.1. Donji trijas ( $T_1$ ) .....	8
3.2. Srednji trijas ( $T_2$ ).....	9
3.3. Gornji oligocen i donji miocen (Ol, M) .....	10
3.4. Miocen (M) .....	11
3.5. Deluvij (d).....	13
3.6. Aluvij (a).....	14
3.7. Prikaz tektonskih odnosa .....	14
4. METODE ISTRAŽIVANJA .....	16
4.1. Optička mikroskopska metoda.....	16
4.2. Metoda elektronske mikroanalize (mikrosonda) .....	16
4.3. Metode analize kemijskog sastava stijena .....	17
5. REZULTATI.....	19
5.1. Petrografija.....	19
5.2. Kemijski sastav minerala .....	21
5.2.1 <i>Pirokseni</i> .....	21
5.2.2. <i>Amfiboli</i> .....	23
5.2.3. <i>Feldspati</i> .....	24
5.2.4. <i>Fe-Ti oksidi</i> .....	25
5.2.5. <i>Vulkansko staklo</i> .....	25
5.2.6. <i>Glaukonit</i> .....	25
5.3. Kemijski sastav vulkanskih stijena .....	26
6. DISKUSIJA .....	29
6.1. Uvjeti sedimentacije.....	29
6.2. Klasifikacija vulkanskih stijena .....	32
6.3. Magmatska provenijencija i petrogenеза .....	33
7. ZAKLJUČAK .....	35
8. LITERATURA .....	36
9. FOND STRUČNIH DOKUMENATA .....	40

## **Popis tablica:**

**Tablica 1.** Reprezentativne kemijske analize i formule minerala iz uzoraka vulkanskih bomba u maceljskim pješčenjacima kod Strupara.....22

**Tablica 2.** Kemijske analize uzoraka vulkanskih bomba u maceljskim pješčenjacima kod Strupara.....28

## **Popis slika:**

**Slika 2-1.** Tektonska skica istočnog segmenta Perijadranskog rasjednog sustava..... 7

**Slika 5-1 (lijevo).** Mikrofotografija izbruska andezitne bombe ..... 20

**Slika 5-2 (desno).** Mikrofotografija izbruska masivnog dacita..... 20

**Slika 5-3.** En-Wo-Fs klasifikacijski dijagram za piroksene ..... 21

**Slika 5-4.** Klasifikacijski dijagram za kalcijске amfibole ..... 23

**Slika 5-5.** Prikaz sastava feldspata u Ab-An-Or klasifikacijskom dijagramu ..... 24

**Slika 6-1.** Prikaz andezitnog vulkanizma u sinsedimentacijskim uvjetima taloženja ..... 31

**Slika 6-2 (lijevo).** IUGS dijagram za klasifikaciju i nomenklaturu vulkanskih stijena ... 32

**Slika 6-3 (desno).** Dijagram za klasifikaciju i nomenklaturu vulkanskih stijena u smislu pripadnosti seriji vulkanskih stijena..... 32

**Slika 6-4 (lijevo).** Dijagram koncentracija elemenata normaliziranih prema vrijednostima u primitivnom plaštu (spider dijagram). ..... 33

**Slika 6-5 (desno).** Dijagram koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih prema vrijednostima u hondritnom meteoritu..... 33

## 1. UVOD

U sjeverozapadnoj Hrvatskoj, u okolini Macelja, Trakoščana i Ravne gore prisutne su vulkanske, piroklastične, vulkanogene i klastične sedimentne stijene miocenske starosti. U literaturi se spominju kao andeziti i njihovi tufovi te maceljski pješčenjaci. Zajedničko svim spomenutim stijenama je miocenski vulkanizam koji je izravno dao materijal za taloženje tufova te imao utjecaj pri taloženju maceljskih pješčenjaka. Navedene vulkanske stijene pripadaju kalcijsko-alkalijskoj vulkanskoj aktivnosti donjomiocenske starosti raširenoj uzduž istočnog segmenta perijadranskog lineamenta u jugoistočnoj Sloveniji i sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Geneza magma veže se za postkolizijsku ekstenzijsku tektoniku koja slijedi nakon sučeljavanja i kolizije segmenata afričke i euroazijske kontinentalne litosfere tijekom krede i eocena. Postoje brojni radovi o ovim stijenama ali njihov geodinamski značaj nije još do kraja riješen. Svaki novi podatak, makar i lokalnog značaja, može pomoći u tom smislu.

U ovom radu istražene su do sada nezabilježene pojave andezitnih vulkanskih bomba u glaukonitičnim horizontima maceljskih pješčenjaka eger-egenburške starosti. Vulkanskim bombama smatraju se klasti nastali izravno eksplozivnom vulkanskom aktivnošću, a koji su veći od 64 mm (klasifikacija prema McPHIE i dr, 1993). Uzorci potječu iz istražne bušotine locirane u okolini Strupara na padinama Ravne gore, blizu Varaždina. Uzorci vulkanskih bomba potječu iz intervala bušotine od 19,5 m do 27,0 m koji prolazi kroz horizont maceljskih pješčenjaka s obiljem pretaloženih glaukonita. Povoljna je okolnost da se stijene uzorkovane u bušotini nalaze u neporemećenom stratigrafском slijedu koji omogućuje jasan uvid u sukcesiju zbivanja.

Maceljski pješčenjaci koji u višim nivoima sadrže andezitne vulkanske bombe izravno naliježu na masivne vulkanske stijene sastava dacita i time je po prvi put dokazano da je miocenski vulkanizam u najistočnijem dijelu perijadranskog lineamenta započeo erupcijama dacita.

U radu su prikazani petrografske i geokemijske podaci za četiri uzorka vulkanskih bomba i jedan masivni dacit. Za vulkanske stijene napravljene su kemijske analize sadržaja glavnih elemenata, mikroelemenata i elemenata rijetkih zemalja. Kemijski sastav njihovih faza istražen je pomoću elektronske mikrosonde.

Sedimentološke analize su uključile petrografske odredbe pješčenjaka prisutnih u uzorcima, čime su pješčenjaci svrstani u litične grauvake i/ili litoarenite, s obiljem glaukonitičnog materijala.

Zaključeno je da daciti predstavljaju stijene inicijalnog vulkanizma i da je kemijski zreli glaukonit formiran na račun dacitnog piroklastičnog substrata u najranijoj fazi ekstenzije sedimentacijskog bazena. Andezitne bombe svjedoče o nedalekim, površinskim erupcijama u fazi intenzivnog zapunjavanja bazena klastičnim materijalom iz litografski različitih izvorišnih područja. Kemijski nezreo glaukonitični materijal u horizontima s vulanskim bombama i pretaloženim zrelim glaukonitom predstavlja singenetsku ispunu intergranularnog prostora.

## **2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA**

Najstariji podaci o maceljskim pješčenjacima datiraju od Austro-Ugarske monarhije. Prikazani su na preglednoj geološkoj karti mjerila 1 : 75 000 (DREGER, 1898), gdje su izdvojeni pod nazivom "Hartere Sandsteinbildungen, Kalk - und Tuffsandstein".

Daljna istraživanja obavio je GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1904) i nazvao ih maceljskim pješčenjacima, koje je definirao kao zelenosive prašinaste pješčenjake donjomiocenske starosti, a koji predstavljaju plitkovodnu morsku sredinu taloženja.

KIŠPATIĆ (1909) je detaljno opisao mlađe eruptivno kamenje u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, a uz eruptive spominje tufove i pješčenjake, kao i njihov fosilni sastav.

ANIĆ (1957) raspravlja o starosti andenzitnih erupcija u Hrvatskom zagorju. Zaključio je da su vulkanske erupcije srednjomiocenske, tortonske starosti.

MAGDALENIĆ i dr. (1959) potvrdili su tortonsku starost efuziva i tufova na području Bednja-Ivanec-Vinica.

GOLUB & BRAJDIĆ (1969) su opisali piroklastične stijene kod Donjeg Jesenja koje se nalaze u bazi maceljskih pješčenjaka. Obzirom na strukturu odredili su dva osnovna tipa stijena i to vitroklastične i vitrokristaloklastične tufove, za koje smatraju da su vezani uz pojave mladih neutralnih do kiselih eruptiva. Prepostavili su da su tufovi interkalirani u lapore te da im je starost ista kao i lapora, tj. oligocenska.

BRAJDIĆ (1978) je opisao kamenolom tufa kod Donjeg Jesenja i naveo da su piroklastiti dobro uslojeni, homogene teksture i da leže na laporima.

BRAUN (1978) je opisao bentonitne gline kod Bednje. Glina je pomiješana s piroklastitima i pješčenjacima, a nepravilnost današnjeg rasporeda se tumači višekratnim vulkanskim erupcijama.

BOJANIĆ i dr. (1978) analizirali su uzorke na usjecima ceste Đurmanec-Podlehnik. Analiza je bila usredotočena na "klastične miocenske sedimente". Prema rezultatima istraživanja, pješčenjaci imaju najveće rasprostiranje, zatim slijede konglomerati i tufitični pješčenjaci. Navedeni klastiti stalnog su mineralnog sastava, a razlika je u veličini zrna, omjeru mineralne i litične komponente, te u količini vulkanoklastičnog materijala.

ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ (1978) dali su sedimentološki i petrografski opis maceljskih pješčenjaka kod Trakošćana, te su opisali tufove koji se nalaze kao proslojci i leće unutar pješčenjaka. Na temelju analize mikrofaune i makrofaune, navedene naslage su svrstane u burdigal (egenburg).

TIŠLJAR & ŠIMUNIĆ (1978) su detaljno opisali maceljske pješčenjake uz trasu ceste Macelj-Trakošćan i odredili ih kao litoarenite i tufitične pješčenjake koji se izmjenjuju sa sitnozrnatim konglomeratima, tufovima, glinama i laporima. Na temelju fragmenata ljuštura školjkaša, briozoa i skeleta crvenih algi mogli su zaključiti da je okoliš taloženja bio u plitkom priobalnom moru uz dodatni donos materijala iz povremenih vulkanskih erupcija.

ANIČIĆ & JURIŠA (1985) su kao autori karte i tumača za list Rogatec Osnovne geološke karte SFRJ mjerila 1 : 100 000 dali kronostratigrafski prikaz slijeda naslaga, a maceljske su pješčenjake zajedno s ostalim stijenama uvrstili u burdigal.

TIBLJAŠ & ŠĆAVNIČAR (1988) su objavili rezultate mineraloškog istraživanja tufova kod Donjeg Jesenja za koje se pretpostavlja da su u bazi maceljskih pješčenjaka.

ŠIMUNIĆ i dr. (1988, 1990 i 1995) su dali najopsežniji opis petrografske karakteristike maceljskih pješčenjaka. Istražili su njihovu povezanost s vulkanizmom, te opisali faze nastanka i porijeklo glaukonitičnog materijala u pješčenjacima.

Starost ovih naslaga, prema dosadašnjim istraživanjima (ŠIMUNIĆ i dr., 1988), obuhvaća razdoblje tercijara, točnije stariji dio miocena (eger, egenburg, otnang). Taloženje materijala je završilo tektonskim izdizanjem u karpatu.

Prema ŠIMUNIĆ i dr. (1988, 1990 i 1995) a na temelju tekstura i petrografske sastava maceljski pješčenjaci su podijeljeni u tri nivoa.

Stariji nivo (Vučji Jarek član) je poznat na području Donjeg Jesenja, gdje su ovi sedimenti transgresivni na klastitima egera ("Socka" naslage). Sedimenti starijeg nivoa su izrazito sivozeleni-s dobro izraženom kosom planarnom i koritastom slojevitošću. To su srednjezrnati i krupnozrnati pješčenjaci odijeljeni slojevima sitnozrnatih pješčenjaka markiranih tankim slojevima i tragovima pelita. Količina glaukonitičnog materijala varira, tako da je u starijem dijelu podjednako raspoređen, a u mlađem dijelu je rijed ili samo koncentriran u pojedinim laminama. Pojava bioturbacije je češća u slojevima s povišenim udjelom vulkanske komponente. Prema sastavu zrna, vezivu i količini pojedinih mineralnih sastojaka, ovi su pješčenjaci petrografski određeni kao glaukonitični litični areniti, glaukonitični litični areniti – grauvake i glaukonitične grauvake. Mineralni

sastav pješčenjaka je kvarc, čestice stijena, feldspati i glaukonit, a rijede se nalaze muskovit, klorit i biotit. Mogu se naći i rekristalizirane ljušturi školjkaša, apatit, opaki minerali: pirit, magnetit, ilmenit te organska tvar. U vezivu prevladava kemijski izlučen cement. Vezivo je smjesa više komponenti, i to kvarcnog, dolomitnog, kalcitnog, sideritnog i limonitnog cementa. Ponekad je vezivo i smede vulkansko staklo. Ono je sekundarno izmijenjeno u limonit, klorit i montmorilonit (ŠIMUNIĆ i dr., 1990). Matriks je prisutan u bioturbiranim slojevima, a po sastavu je smjesa gline, siltoznog kvarca, sericita, klorita, karbonata i limonita.

Mlađi nivo (Čemernica član) maceljskih pješčenjaka obilježen je teksturama kao što su kosa slojevitost, bioturbacija, ihnofosili, "clay chips", a posebno valja istaknuti kosu i paralelnu laminaciju. Tipovi pješčenjaka su isti kao i u starijem nivou, ali s manje glaukonita. Glaukonit je ovdje koncentriran samo u pojedinim laminama. Naslage su žućkastosive do žućkastosmeđe. U pješčenjacima mlađeg nivoa ima više detritičnih i autigenih karbonata, muskovita, piroklastičnog kvarca i feldspata, a manje litičnih sastojaka. Pješčenjaci su sitnozrnati do srednjezrnati, a rijede krupnozrnati do sitnokonglomeratični. U sitnozrnatim pješčenjacima zastavljen je muskovit. U pojedinim laminama koncentrirani su granati (bezbojni grosular) i opaki minerali (ilmenit, hematit, magnetit, pirit i limonit). Od karbonatne komponente zastupljene su čestice dolomita, fosilni detritus, te kalcitni, dolomitni i sideritni cement. Ostale litične čestice su jednake kao i u starijem nivou. Ima više piroklastičnog kvarca i feldspata, kloritiziranog biotita, vulkanskog stakla, čestica tufova i efuziva. U vezivu je puno veći udio kemijskog cementa od matriksa. Vulkansko staklo se ne nalazi u vezivu pješčenjaka.

Najmlađi nivo (Lipni Vrh član) karakterizira planarna slojevitost i česta pojava laminacije. Pješčenjaci su uglavnom sitnozrnati, rijede srednjezrnati i krupnozrnati, a prema sastavu detritičnih sastojaka definiraju se kao sublitični i litični areniti. Mineralna zrna prevladavaju nad litičnim sastojcima. Vrlo je malo glaukonita, a značajna je koncentracija muskovita ili pirita i granata. Fosili se nalaze češće, a cement je isključivo kalcitni (ŠIMUNIĆ i dr., 1990).

Taloženje maceljskih pješčenjaka se zbivalo u plitkom priobalju i na tajdalnim ravnicama uz prisutnost ili odsutnost delti manjih tokova. Sedimentirali su se u plitkom moru gdje je voda siromašnija kisikom, a sam prostor je povremeno bio izoliran od otvorenog mora pješčanim prudovima (ŠIMUNIĆ i dr., 1990). Ti su prudovi sprečavali

odnos materijala u dublje dijelove bazena, ali najvjerojatnije nisu bili prepreka za plimske struje koje pokreću i premještaju sedimente. Vulkanoklastični materijal je porijeklom iz eksplozivnog dacitno-andezitnog vulkanizma, a sedimentirao se ili u periodima sinsedimentacijske vulkanske aktivnosti ili je vulkanski materijal bio naknadno pretaložen.

Donos materijala je bio relativno polagan te isprekidan premještanjem plimnim strujama i klizanjem rastresitog taloga (ŠIMUNIĆ i dr., 1990).

Prema ALTHERR i dr. (1995), vulkanska aktivnost tijekom ranog miocena u području SZ Hrvatske dio je magmatizma vezanog na postkolizijsku ekstenziju uzduž Perijadranskog (Insubrijskog) rasjednog sustava. Područje Ravne Gore u SZ Hrvatskoj geotektonski pripada sedimentacijskom bazenu Paratetisa. (Sl. 2-1)

TADEJ i dr. (1997) navode da se vulkanoklastični materijal sedimentirao ili u periodima sinsedimentacijske vulkanske aktivnosti ili je vulkanski materijal bio naknadno pretaložen. Mineraloškom analizom glaukonitičnog materijala dokazano je da se on sastoji od <5 % smektitnih slojeva te se može smatrati glaukonitom.

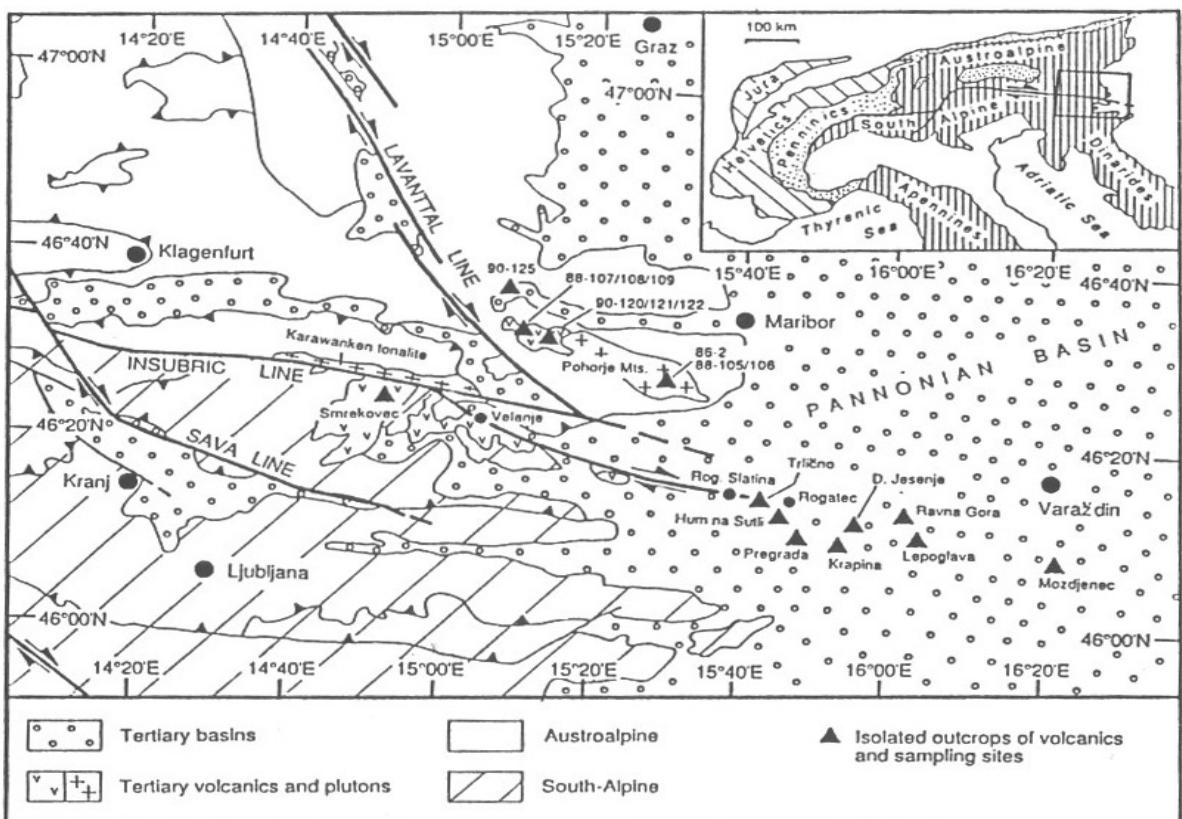
BELOŠEVIĆ (1998) te JURAK & BELOŠEVIĆ (1999) su na temelju provedenih inženjersko-geoloških istraživanja izdvojili četiri litološka tipa maceljskih pješčenjaka, različita po svojim petrološkim i geomehaničkim svojstvima. Izdvojeni su:

Tip A – sitnozrnati homogeni pješčenjaci koji sadrže i krupnije listice muskovita a vrlo rijetko i pojedinačne tanke siltozne lamine;

Tip B – sitno do srednjezrnati pješčenjaci nehomogeni uslijed bioturbiranja a vjerojatno mjestimično i slampiranja tj. sinsedimentacijskih podvodnih klizanja;

Tip C – koso laminirani srednje do krupnozrnati pješčenjaci mjestimice s raskinutim kosim laminama glinovitih pješčenjaka i siltita. Mjestimično imaju flazer i valovitu slojevitost. Bogatiji su glaukonitom od ostala tri litotipa. Neki su uzorci postsedimentacijski jako tektonizirani i imaju glinovite klizne plohe.

Tip D – krupnozrnati glaukonitični pješčenjaci koji mjestimice prelaze u konglomeratične pješčenjake s valuticama 2 – 6 mm. Sadrže relativno krupna glaukonitična zrnca, a pojedini uzorci sadrže bijele krhotine karbonata veličine 1 do 3 mm te vulkanski pepeo.



**Slika 2-1.** Tektonska skica istočnog segmenta Perijadranskog rasjednog sustava s položajem Ravne Gore (pojednostavljeni prikaz prema DROVENIK i dr., 1980; POLINSKI & EISBACHER, 1992).

### **3. GEOLOŠKA GRAĐA I TEKTONSKI ODNOSI ŠIREG PODRUČJA**

Područje Ravne gore nalazi se unutar lista Rogatec Osnovne geološke karte mjerila 1:100 000 (PRILOG 1). Prema autorima OGK-e list Rogatec (ANIČIĆ & JURIŠA, 1985) kao i prema tumaču OGK (ANIČIĆ & JURIŠA, 1985) maceljski pješčenjaci su uvršteni u burdigal. Podaci o geološkoj građi šireg područja preuzeti su iz tumača OGK.

#### **3.1. Donji trijas ( $T_1$ )**

Najstarije stijene na ovom području su donjotrijaske starosti, a predstavljene su dolomitima, oolitnim i laporovitim vapnencima, pjeskovitim škriljavcima i pješčenjacima. Nalaze se kao izolirana tijela unutar naslaga srednjeg trijasa na jugoistočnom dijelu terena, tj. u području između Jesenja i Podgore Krapinske. Debljina naslaga donjeg trijasa je od 200 do 300 m.

Ove naslage su u svom donjem dijelu razvijene kao crvenkasti pješčenjaci, pjeskoviti škriljavci i dolomiti. Boje variraju od crvenkastosivih do crvenoljubičastih. U gornjem dijelu su tankopločasti tamnosivi dolomiti, zatim vapnenci i latori, a moguća je i pojava intraformacijskih breča. U pješčenjacima je dominantna detritična komponenta kvarc uz koji se još nalaze minerali glina i muskovit. Vezivo može biti sastavljeno od kvarca i limonita, kombinacije limonita i hematita s uklopcima sericita ili od mikrokristalastog kalcita s limonitom. U pjeskovitim škriljavcima se mogu naći ostaci ljuštura školjaka, vjerojatno roda *Anodontophora*.

U gornjem dijelu slijeda dolaze dolomiti i vapnenci. Dolomit je crvenkastosivi, a ponekad je rožnat. Nalazi se u slojevima debelim 15 – 35 cm. Na dolomitu leži crvenkastosivi do tamnosivi vapnenac, a pojavljuje se kao pločast do tankoslojevit, gust i kompaktan. Vapnenac je ispresjecan kalcitnim žilicama a od fosila se nalaze ostaci školjaka iz roda *Myophoria costata* i *Meandrospira pusilla*, te puževa iz roda *Natica*.

Karbonatne stijene su klasificirane kao oosparitni, biointerpelšparitni i mikrosparitni vapnenci. Ponekad je vidljiva dolomitizacija i dolosparit, a količina  $\text{Ca CO}_3$

varira od 64,57 do 96,41 %. Oosparitni i biointrapelosparitni vapnenci sadrže mnoštvo ljuštura školjkaša, kućica puževa te odlomaka krinoida.

### 3.2. Srednji trijas ( $T_2$ )

Stijene srednjeg trijasa nalaze se u okolini Đurmanca, Hromeca, Podgore Krapinske te Strahinčice. Unutar srednje trijaskih naslaga mogu se izdvojiti tri skupine stijena:

#### Peliti, pješčenjaci, dolomiti, rožnjaci i tuf

U srednjem trijasu u dubljim dijelovima sedimentacijskog prostora dolazi do taloženja tankoslojevitih, sitnozrnatih klastita – pelita. Iza njih slijede tufovi, piroklastični aglomerati i bazične stijene. Tamna boja sedimenata potječe od povišene koncentracije pirita i organske tvari.

Uz klastite česti su i mikritni vapnenci s radiolarijama. Rožnjaci su određeni kao radiolariti koji su nastali konsolidacijom radiolarijskog mulja, a sastoje se iz kripto i mikrokristalastog kvarca s uklopima gline i limonita.

#### Dolomiti, dolomitne breče i dolomitizirani vapnenci

Tamnosivi vapnenci i dolomiti s rekristaliziranim ostacima krinoida su taloženi na širokom prostoru tako da im debljina varira od lokaliteta do lokaliteta. Na mjestima gdje nisu taložene vulkanogeno-sedimentne stijene, tamni dolomiti kontinuirano prelaze u sive i svijetlosive debeloslojevite i masivne dolomite, vapnene dolomite i dolomitne breče. U dolomitu se uočavaju limonitizirane teksture, što daje naslutiti da su nastali dolomitizacijom stromatolitnih vapnenaca. Veći dio dolomita je rekristaliziran tijekom dijogeneze. Karakterističan je brečasti habitus koji je nastao uslijed intenzivnih tektonskih deformacija. U dolomitima, u kojima je sačuvana primarna struktura, nađeni su ostaci fosila: *Meandrospira dinarica*, *Neoendothyra knepperi* i *Earlandinita oberhauseri*.

### *Spilitizirani dijabaz i tuf*

Ova vrsta stijena zapažena je sjeverozapadno od Đurmanca, na Strahinjščici i u okolini Podgore Krapinske. Spilitizirani dijabaz i tuf su na površini rijetko svježi.

Spilitizirani dijabaz je na površini zelenkast, a sastavljen je od štapićastih albita, ilmenita, klorita, leukoksema, sericita, augita i kalcita. Od dijagenetskih procesa česti su albitizacija, kloritizacija i kalcifikacija. Ova stijena je značajna zbog pojave dvije vrste klorita; zelenog niskodvolomnog, koji stijeni daje karakterističnu tamnozelenosivu boju i rahlog, crvenkastog visokodvolomnog. Ovaj drugi tip klorita je dijelom limonitiziran i stijeni daje hrđavocrvenu boju. Spilitizirani dijabaz je kriptokristalast i ima ofitnu strukturu.

Spilitizirani tuf je također zelenkastosiv. Uglavnom je srednjezrnat, veličina zrna varira od 0,1 do 0,5 mm. Sadrži minerale glina i fenske minerale, te kalcitne, glinovite i kloritne čestice. Kao akcesorni minerali nalaze se apatit, kvarc, epidot, cirkon, turmalin, limonit, titanit i magnetit. Veziva je naizgled malo jer je uslijed dijagenetskih procesa došlo do prožimanja relativno krupnijih klasta s vezivom. Većina čestica je mikrokristalna. Plagioklasi su sericitizirani, kalcitizirani i kloritizirani.

### **3.3. Gornji oligocen i donji miocen (Ol, M)**

Stijene gornjeg oligocena i donjeg miocena su erozijski diskordantne na starije naslage perma i trijasa. Rasprostiru se središnjim dijelom promatranog terena, i to od Hlevnice i Hromeca na zapadu, pa preko Đurmanca do Žutnice na istoku. Zbog litološki identičnog sastava naslaga gornjeg oligocena i donjeg miocena, na karti ih nije moguće razlikovati pa su prikazane kao jedna cjelina. Uočene su dvije skupine stijena:

#### Pijesci, pješčenjaci, pjeskovite gline, pjeskoviti lapori i škriljavci

Prevladava sivi do crvenkastosivi pijesak slabe do srednje sortiranosti. Uz kvarc, koji je i glavni sastojak, zastupljeni su sericit, minerali glina i odlomci stijena. Karakteristična je kosa slojevitost.

Između pijesaka dolaze tanji slojevi pješčenjaka debljine od nekoliko cm do nekoliko dm, a rijetko dosežu debljinu od 0,5 m. Pješčenjaci se pretežno sastoje od kvarcnih zrna a vezivo je kontaktnog tipa. U vezivu dominiraju sitni minerali glina, klorit, muskovit i kvarc, a karakteristična crvenkasta boja potječe od željezovitih

hidroksida. Veličina zrna u pješčenjaku varira od nekoliko desetinki milimetra do preko nekoliko milimetara, a ponekad pješčenjak prelazi u sitnozrnati konglomerat.

Između pijesaka i pješčenjaka u obliku uložaka dolaze kvarcni konglomerati sastavljeni od valutica kvarca veličine i do 5 cm. Uz kvarcne prisutni su i ostaci vapnenih, rožnatih i metamorfnih stijena. Valutice su djelomično do potpuno zaobljene. Vezivo je pjeskovito.

Kao ulošci u pijescima nalaze se maslinastosivi slojevi gline debljine 1 – 30 cm.

Glinoviti i pjeskoviti lapor je pretežno maslinastosivi a može doći u izmjeni s tankoslojevitim, crvenkastim pješčenjakom. Debljina slojeva pješčenjaka je od nekoliko cm do nekoliko dm. U pješčenjacima su česti ostaci bilja. Laporovita gлина sadrži do 7,3 % kalcita i 3 – 11,2 % dolomita.

Od fosilnih ostataka značajne su paleogenske vrste foraminifera: *Tritaxia* (*Clavulinoides*) *szaboi*, *Planularia kubinyii*, *Vaginulinopsis gladius*, *Vaginulinopsis pseudodecorata* i *Almaena* ex gr. *osnabrugensis*. Na području Krapine, Radoboja i Golubovca karakteristične su vrste makrofosa: *Pitaria* (*Cordiopsis*) *inerassata*, *P. (Cordiopsis) islandicoides*, *Turitella* cf. *venus*, *Psamobia aquitanica*, *Potamides lamarcki*, *Mytilus aquitanicus*, *Crassostrea gruyhoides*, *Ostrea gingeensis*, *Tympanotonus margaritaceus* i *Pirenella plicata*.

Debljina opisanih naslaga doseže do 500 m.

### Andezit

Andezit nalazi na maloj površini zapadno od Rogateca, točnije u okolini Sv. Roka. Dolazi u obliku manjih izljeva unutar andezitnog tufa. Andezit je većinom sivozelen do maslinasto zelen. Ima porfirnu strukturu, a osnova je sitnozrnata te se sastoji od plagioklasa (oligoklasa, andezina), klorita i vulkanskog stakla. Još se nalaze augit, hipersten, biotit i hornblend.

## **3.4. Miocen (M)**

Naslage miocenske starosti pokrivaju većinu istraživanog područja. Podijeljene su prema starosti u tri kata: burdigal, torton i sarmat. U sjevernom dijelu terena, tj. u području Gornjeg i Donjeg Macelja nalaze se stijene burdigala, dok u jugozapadnom dijelu prevladavaju sedimenti tortona. Sarmat se pojavljuje transgresivno na torton u

obliku manjih navlačnih tijela. S obzirom na starost razlikuju se i tri litološki odvojene cjeline:

#### Kvarcni pijesci, pješčenjaci, konglomerati i pjeskovite gline (burdigal)

Ove stijene nalaze se u sjevernom dijelu istraživanog područja na potezu od Jesenja, preko Maceljske gore, pa dalje prema Rogatecu. One leže na naslagama gornjeg oligocena i donjeg miocena.

U području Maceljske gore prevladavaju čvrsto vezani klastiti, različite veličine zrna, nad slabo vezanim. Uglavnom dominira srednje do krupnozrnati pješčenjak. Konglomerata je vrlo malo. Pješčenjaci i konglomerati su crvenkastosivi do zelenosivi. Ponekad se unutar pješčenjaka mogu zapaziti i tanji proslojci pjeskovitog laporanog lapor i gline.

Opisane stijene su zbog svoje osobitosti poznate kao maceljski pješčenjaci. Maceljski pješčenjaci su naslage klastita debljine do nekoliko stotina metara. Klastite čine pješčenjaci, siltozni pješčenjaci, tufitični pješčenjaci, konglomerati i tufovi. Ovi pješčenjaci su definirani kao miješani ili hibridni, tj. oni koji osim siliciklastičnih zrna (kvarc, feldspati, odlomci stijena) sadrže i znatniji udio detritusa nastalog kemijskim i biokemijskim izlučivanjem. Također mogu sadržavati i čestice intrabazenskog materijala nastale nekim drugim procesom (glaukonit, fosfati). Ovi klastiti se najčešće definiraju kao litoareniti sa značajkama tufitičnih pješčenjaka, tako da uz siliciklastična zrna sadrže i izmijenjene odlomke vulkanoklastičnog materijala porijeklom od eksplozivnog andezitno-dacitnog vulkanizma. Osim navedenih komponenti maceljski pješčenjaci sadrže i zrna glaukonita nastalog u plitkom marinskom okolišu izmjenama vulkanoklastičnih čestica.

Starost ovih naslaga dokazana je uz pomoć mikrofosila: *Bathysiphon* sp., *Haplophragomides* sp., *Spiroplectammina carinata*, *Karreriella* sp., *Martinottiella communis*, *Cyclogyra polygyra*, *Nodosaria longiscata*, *Glandulina laevigata*, *Bulimina* sp., *Stainforthia schreibersiana*, *Globigerina* sp., *Florilus communis*, *Melonis soldani* i *Cibicidoides ungerianus*.

Debljina opisanih naslaga je približno 400 m.

#### Lapor, laporoviti vapnenac i pjeskoviti lapor (torton)

Naslage tortona zauzimaju jugozapadni dio istraživanog područja a leže konkordantno na naslagama helvetskog kata, taložene transgresivno na starije sedimente.

Suježi lapor je siv, zelenkastosiv, a na površini je uslijed oksidacijskih procesa crvenkastosmeđ. Često je slojevit i laminiran. Česti su i sivi vapneni lapori, pjeskovito-glinoviti mikritni vapnenac te kalkarenit. Lapor sadrži približno 65 % CaCO<sub>3</sub>, međutim, postotak karbonata često doseže do 93 % pa prelaze u kalcitne mikrite.

Pjeskoviti lapori i pješčenjaci su većinom dobro slojeviti, crvenosivi. Radi se o litoarenitima i pjeskovitim biosparitima kod kojih odnos karbonatnog i nekarbonatnog detritusa varira. Zrna su poluzaobljena, rijetko zaobljena, a vezivo je kalcitno s glinovitim primjesama. U sastavu teške frakcije dominira granat, a uz njega se nalaze i turmalin, cirkon, rutil, klorit i biotit. Akcesorni minerali su epidot, amfibol, apatit, disten i kromit.

Nalaz makrofaune je vrlo čest: *Pycnodonta cochlear*, *Chlamys latissima*, *Chlamys latissima nodosiformis*, *Amussium corneum denundatum*, *Phacoides borealis* i *solemonia doderleini*. Od mikrofaune vrlo su značajne foraminiferske vrste: *Nodosaria aculeata*, *Lenticulina echinata*, *Uvigerina macrocarinata*, *Ammonia beccari*, *Globigerina bulloides*, *Orbulina bilobata*, *Bolivina dilatata*, *Bulimina elongata*, *Uvigerina venusta*, *Elphidium fichtelianum* i *Virgulinella pertusa*.

Debljina navedenih nasлага je od 100 do 500 m.

#### Vapneno-kvarcni konglomerati i pješčenjaci (sarmat)

Ove naslage leže transgresivno na stijenama tortona, a nalaze se u krilima laške i planinsko-desničke sinklinale koje se pružaju smjerom istok-zapad.

Pješčenjaka je puno više nego konglomerata. Pješčenjaci sadrže pretežno čestice karbonata i ostatke skeleta litotamnija te ostale grebenske organizme. Konglomerat je sitnozrnat s prijelazom u pješčenjak. Prevladavaju valutice i zrna vapnenca, kvarca ima vrlo malo a uočavaju se i ostaci litotamnija. Vezivo je pjeskovito.

### **3.5. Deluvij (d)**

Naslage deluvija nalaze se na manjim površinama u sjevernom dijelu terena, tj. na padinama Ravne gore. Sastoje se iz slabozaobljenih i nezaobljenih odlomaka stijena različitih veličina. Ti sedimenti su nastali usitnjavanjem matičnih stijena i kretanjem po padini.

### **3.6. Aluvij (a)**

Aluvijalni nanosi recentnih rijeka Krapine, Sutle i Krapinčice te potoka Mačelčice i Velike i Male Ravninčice prekrivaju značajnu površinu terena. Sastoje se od sitnozrnatih čestica pjeska, praha i gline. Fosilni meandri rijeke Krapine su zapunjeni odlomcima trijaskih stijena. Glavni sastojak aluvijalnih nanosa su slabo sortirani pjeskovito-glinoviti sedimenti. Pjeska ima 14 – 42 % a gline 5 – 20 %. U sastavu pjesaka prevladava kvarc s više od 50 %. Udio teške frakcije je relativno visok a u njenom sastavu prevladavaju epidot i granat, te rutil, cirkon, amfibol i turmalin.

Značajni su makrofosili: *Theodoxus transverzalis* i *Lithoglyphus naticoides*.

Sitnozrnate valutice aluvijalnog nanosa vuku porijeklo iz starijih paleozojskih, mezozojskih i tercijarnih stijena.

### **3.7. Prikaz tektonskih odnosa**

Istraživano područje nalazi se između dvije velike geotektonske cjeline: Dinarida i Panonskog bazena. Tektonska građa područja izuzetno je složena, čitava regija značajno je borana i rasjedana a od sjevera prema jugu uočava se porast broja antiklinalnih i sinklinalnih struktura. Osi bora većinom imaju smjer istok-zapad. Prema zapadu se antiklinale sužavaju a sinklinale proširuju. Osim bora nalaze se i navlačne strukture koje su na više mjesta dokazane u buštinama (ANIČIĆ & JURIŠA, 1985). Cijelo područje je ispresjecano brojnim rasjedima koji se protežu smjerom sjeverozapad-jugoistok.

Poznate su tri rasjedne zone od kojih se dvije sastaju kod Rogaške Slatine (ŠIMUNIĆ & PAMIĆ, 1993). Južna zona proteže se od Rogaške Slatine preko Huma na Sutli, Lepoglave, Varaždinskih Toplica do Slanja. Ova zona je u geološkoj literaturi poznata kao "Zona pršinaca" (KÖBER, 1952) a u njoj je registrirano dvanaest površinskih pojava andezita. Ona se prema zapadu nastavlja u Smrekovečki rasjed (MIOČ, 1978) koji je smatrani istočnim nastavkom Perijadranskog lineamenta. Prema sjeveroistoku se od Rogaške Slatine odvaja druga rasjedna zona, tj. Donački rasjed (KOSSMAT, 1913). Ona se proteže preko Vinice u Međimurje. Postoji i treća, znatno kraća rasjedna zona koja se nalazi na jugozapadnim padinama Ravne gore. Na njoj su zapažene pojave andezita i tufova.

Ove rasjedne zone danas označuju rasprostiranje sedimenata Macelj formacije a utvrđeno je da raspored litostratigrafskih članova na tenu ukazuje na prostranu sinklinalu koja je sa sjeverne i južne strane omeđena antiklinalnim prodorima, a s istoka na nju transgresivno naliježu sedimenti otnanga i badena (ŠIMUNIĆ i dr., 1995).

## **4. METODE ISTRAŽIVANJA**

### **4.1. Optička mikroskopska metoda**

Za početnu analizu miocenske vulkanogeno-sedimentne formacije na primjeru bušotine iz okolice Strupara odabранo je pet intervala s pojavama vulkanskih stijena koji su predstavljeni s ukupno šest mikroskopskih izbrusaka. Pločice stijena dobivene piljenjem uzorka nalijepljene su na objektno stakalce i poliranjem korundovim prahom dosegнутa je standardna debljina izbruska od 0,02 do 0,03 mm, povrh kojeg je nalijepljeno pokrovno stakalce. Kao vezivo korišten je kanadski balzam tvrtke Kemika. Indeks loma spomenutog balzama iznosi 1,54 i korišten je kao unutarnji standard za usporedbu relativnih indeksa loma minerala u kontaktu. Za određivanje mineralnog sastava te strukturnih i teksturnih značajki stijena korišten je polarizacijski mikroskop marke Leica DM EP u ortoskopskim uvjetima opažanja sa i bez uklopljenog analizatora. Raspon korištenih povećanja je bio od 5x do 100x.

### **4.2. Metoda elektronske mikroanalize (mikrosonda)**

Određivanje kemijskog sastava minerala u šest odabranih uzoraka stijena izvršeno je metodom elektronske mikroanalize (EPMA) pomoću mikrosonde CAMECA SX51 u Mineraloškom institutu Sveučilišta u Heidelbergu u Njemačkoj. Instrument omogućava vrlo brzo i precizno određivanje kvantitativnog kemijskog sastava mineralnih faza pomoću pet spektrometara u poliranom mikroskopskom preparatu standardne debljine koji je prethodno u vakuumu prekriven tankim slojem ugljenog praha. Kemijski sastav minerala je određen točkastom metodom s fokusiranim elektronskim snopom širine približno  $1 \mu\text{m}$ . Za analizu feldspata korišten je elektronski snop širine  $10 \mu\text{m}$  da bi se izbjegla evaporizacija natrija. Ioni su pobuđeni na zračenje naponom od 15 kV uz jačinu struje u uzorku od 20 nA. Napravljene su najmanje dvije analize na odgovarajućem zrnu, jedna u sredini a druga na rubu zrna, sa svrhom utvrđivanja kemijske homogenosti faza.

Položaj točkastih analiza dokumentirani su na polaroidnim snimcima slikovnog zapisa povratnih elektrona (PRILOG 2 i 3).

U ovom laboratoriju su za kalibraciju korišteni uobičajeni standardni minerali: oksidi (korund, hematit, spinel, rutil) i silikati (albit, ortoklas, anortit, volastonit). Tijekom mjerena je relativna pogreška bila unutar granica od 1 %. Rezultati mjerena izraženi su masenim postotcima oksida glavnih elemenata. Rezultati su korišteni za izračunavanje strukturnih kemijskih formula minerala po računalnom programu PETERAKI (autor dr. sc. Hans-Peter Meyer, Mineraloški institut u Heidelbergu).

### 4.3. Metode analize kemijskog sastava stijena

Kemijskom analizom obuhvaćeno je ukupno pet uzoraka vulkanskih stijena. Uzorci su zdrobljeni u čestice manje od 5 mm i četvrtanjem su dobiveni homogeni reprezentativni uzorci. Prethodno su ručnim odabirom uklonjene čestice s uočljivim žilicama sekundarnih minerala i korama trošenja. Probrani fragmenti ukupne mase od tridesetak grama potom su u ahatnom mlinu usitnjeni u čestice dimenzije praha. Prije analize prah uzorka osušen je pri 110 °C.

Analiziran je sadržaj glavnih elemenata i izražen je u obliku masenog postotka njihovih oksida, te sadržaj mikroelemenata koji uključuje standarne elemente u tragovima i elemente rijetkih zemalja (REE) koji su izraženi u ppm jedinicama.

Metodom rendgenske fluorescentne spektrometrije (XRF) određen je sadržaj glavnih elemenata i mikroelemenata Cr, Ni i V u tabletama načinjenim boratnom fuzijom praha stijene. Za kalibraciju je korišten komplet međunarodnih standarda magmatskih stijena koje kemijskim sadržajem pokrivaju očekivane koncentracije u odabranim uzorcima.

Metodom emisijske masene spektrometrije s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS) analiziran je sadržaj preostalih mikroelemenata nakon otapanja 500 mg praškastog uzorka u 3 ml otopine HCl-HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O pri 95 °C kroz 1 sat. Elementi rijetkih zemalja (REE) analizirani su metodom ICP-MS iz otopine dobivene nakon taljenja 200 mg praškastog uzorka sa smjesom LiBO<sub>2</sub> i Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.

Ukupni sadržaj Fe analiziran je metodom XRF i izražen kao  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Dvovalentno željezo je određeno volumetrijski titracijom sa standardnom otopinom  $\text{KMnO}_4$  i izraženo kao  $\text{FeO}$ . Sadržaj  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  izračunat je iz ukupnog  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i sadržaja  $\text{FeO}$ .

Sadržaj volatilnih komponenata predstavljen je gubitkom mase uzorka žarenjem pri 1050 °C.

## 5. REZULTATI

### 5.1. Petrografija

Pregledom uzoraka jezgre bušotine (PRILOG 4, Sl. a) – f) unutar pješčenjaka mogu se uočiti tamniji, dobro zaobljeni fragmenti – vulkanski lapili ili bombe elipsoidalnog do kuglastog oblika maksimalno veliki 10 x 5 cm. Imaju do 7 mm debeo žutosmeđi obrub (PRILOG 4, Sl. a) – f) naizgled karakterističan za balističku akrecijsku piroklastiku. Mikroskopska istraživanja pokazala su da akrecijski fenomeni na istraženim vulkanskim bombama ne postoje. Obrub je vitrofiran i u velikoj mjeri devitrificiran za razliku od preostalog dijela bombe koji je holokristalan i vrlo svjež (PRILOG 4, Sl. a) - f)). Unutar središnjeg područja jednog dijela vulkanskih bombi uočene su litofize, tj. zvjezdaste pukotine koje su nastale uslijed brzog hlađenja.

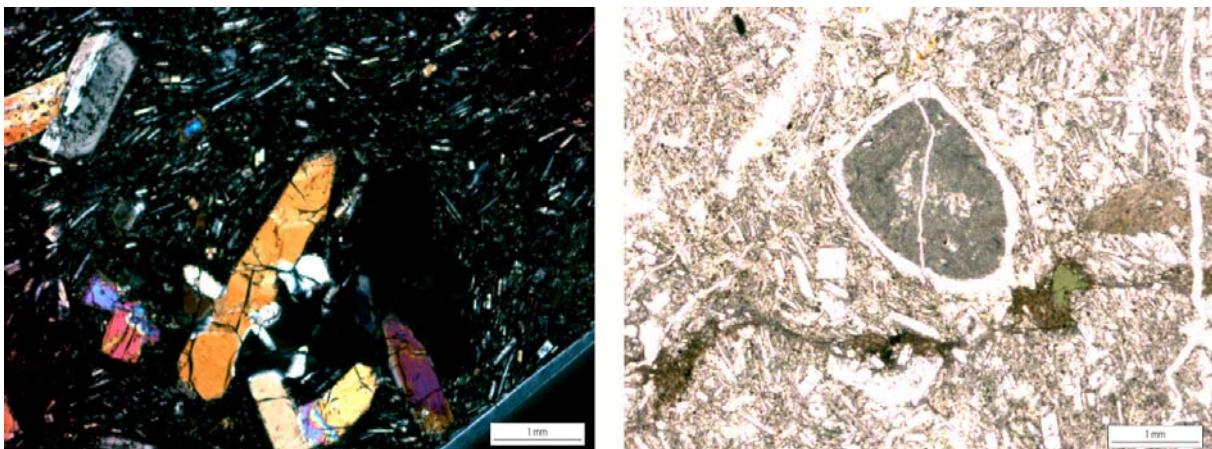
#### *Pješčenjaci*

Mikropetrografskim i mikrosondskim istraživanjima uzoraka pješčenjaka razlikuju se odlomci kvarca, feldspata i vulkanskih stijena. Osim navedenog, u pješčenjaku su u podređenoj količini prisutni fragmenti fosila te zrna glaukonita. U sastavu neznatno dominiraju odlomci kvarca koji mjestimično tamne undulozno. Odlomci feldspata su nezaobljeni i relativno svježi kristaloklasti K-feldspata, rjeđe plagioklasa koji predstavljaju izravni vulkanski doprinos u taloženju pješčenjaka. Odlomci vulkanskih stijena uglavnom pripadaju andezitima porfirne strukture s hipohijalinom osnovom koja je ponegdje i devitrificirana. Među fragmentima fosila moguće je razlikovati fragmente ježinaca, mahovnjaka, školjkaša, koralinacejskih algi i foraminifera. Među glaukonitičnim zrnima prisutna su dva osnovna tipa: 1) jasno omeđena zrna glaukonita bubrežasta ili ovalna oblika i 2) difuzne svjetlozelene intergranularne nakupine glaukonitičnog materijala (PRILOG 3 , Sl. e)). Zrna su loše zaobljena i uglavnom loše sortirana. Vezivo odgovara matriksu ili u nekim uzorcima sparikalcitu te se na temelju djelomične prevlasti litoklasta spram odlomaka feldspata može zaključiti da se radi o **litičnim grauvakama i/ili litoarenitima** s kalcitnim cementom.

## Vulkanske bombe i lapili

Obzirom na mineralni sastav i strukturno-teksturne značajke analizirani uzorci izravnih vulkanskih klasta mogu se razvrstati u: **(a) efuzive pilotaksitne strukture i (b) efuzive porfirne intersertalne strukture.**

Skupini (a) pripadaju uzorci *str-4*, *str-7* i *str-8*. Uzorci imaju pilotaksitnu strukturu s fenokristalima plagioklasa i klinopiroksena, te mikrofenokristalima ortopiroksena (Sl. 5-1) s djelomičnom aglomeracijom u uzorcima *str-4* i *str-7*. Tekstura im je fluidalna s brojnim subparallelnim mikrolitima plagioklasa, posebno u uzorku *str-4*, unutar smeđeg vulkanskog stakla. Fenokristali plagioklasa su često zonarni, sraštaju po albitnom zakonu. Nekoliko većih fenokristala ima sitastu mikrostrukturu s puno stakla uklopljenog u jezgri (Sl. 5-2). U uzorcima *str-7* i *str-8* opažene su izolirane domene s undulozno tamnećim kvarcom. U uzorku *str-8* sporadično se opažaju agregati klorita.



**Slika 5-1** (lijevo). Mikrofotografija izbruska andezitne bombe *str-4* uz uključeni analizator. Vide se aglomerirani fenokristali piroksena i plagioklasa u hipokristalinom matriksu.

**Slika 5-2** (desno). Mikrofotografija izbruska masivnog dacita *str-8* s jednim nikolom. Vidi se fenokristal plagioklasa sitaste mikrostrukture u djelomično staklastom matriksu. Matriks je ispresijecan žilicama ispunjenim kloritom.

Skupini (b) pripadaju uzorci *str-5*, *str-6a* i *str-6b*. Stijene zastupljene uzorcima *str-5* i *str-6a* su intersertalne strukture i homogene teksture s dominirajućim fenokristalima plagioklasa uz ponešto klinopiroksena i podređeno ortopiroksena. Plagioklas je zonaran s polisintetskim sraslačkim lamelama. Značajna je velika količina opakih minerala u matriksu koji obiluje smeđim, svježim stakлом. Uzorak *str-6b* je kompozitni uzorak kojeg tvori vulkanska bomba uklopljena u pješčenjaku. Vulkanski segment je masivan s pilotaksitnom strukturom u kojoj prevladavaju fenokristali plagioklasa uz rijetke piroksene (PRILOG 2, Sl. a-d)).

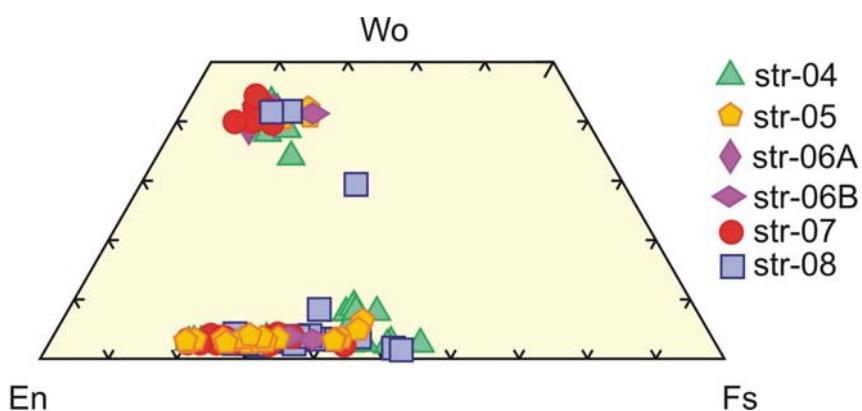
## 5.2. Kemijski sastav minerala

### 5.2.1 Pirokseni

Klinopirokseni i ortopirokseni identificirani su u svim analiziranim uzorcima.

Reprezentativne analize njihovog kemijskog sastava mikrosondom dane su u Tablici 1.

Formule piroksena i raspodjela ukupnog Fe na  $\text{Fe}^{2+}$  i  $\text{Fe}^{3+}$  računate su na bazi 6 aniona kisika i četiri kationa po formulskoj jedinici (i.p.f.j.). Sastav piroksena prikazan je u trokomponentnom dijagramu En-Wo-Fs (Sl. 5-3). Oktaedrijska pozicija u piroksenima najčešće ostaje nepotpunjena, što ukazuje da postoji strukturalna vakancija i da je Fe uglavnom dvoivalentno. Većina klinopiroksena ima sastav augita ( $\text{En}_{39,5-51,6}\text{Wo}_{34,0-43,8}\text{Fs}_{8,5-19,7}$ ). Ortopiroksen je enstatit sastava ( $\text{En}_{43,2-77,1}\text{Wo}_{1,5-5,4}\text{Fs}_{20,2-49,3}$ ), osim nekih fenokristala iz uzorka str-4 koji sastavom odgovaraju ferosilitu. Neki klinopirokseni imaju subalkalijsku tendenciju a dio ih sastavom odgovara pižonitu (uzorci str-4 i str-8). Omjer sadržaja Fe i Mg u pojedinačnim fenokristalima je ujednačen i ne koleba značajno od jezgre prema rubovima zrna.



**Slika 5-3.** Klasifikacijski dijagram za piroksene (MORIMOTO, 1988).  $\text{En} = 100 * \text{Mg}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}_{\text{ukupno}} + \text{Mn})$ ,  $\text{Wo} = 100 * \text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}_{\text{ukupno}} + \text{Mn})$ ,  $\text{Fs} = 100 * (\text{Fe}_{\text{ukupno}} + \text{Mn})/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}_{\text{ukupno}} + \text{Mn})$ .

Tablica 1. Reprezentativne kemijske analize i formule minerala iz uzoraka vulkanskih bomba u maceljskim pješčenjacima kod Strupara

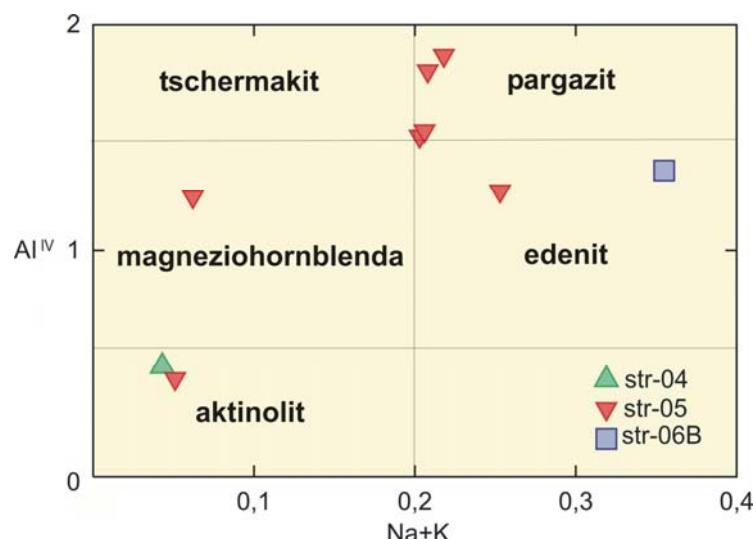
Mineral	opx	opx	opx	opx	opx	cpx	cpx	cpx	cpx	amp	amp	pl	pl	pl	psbr	hmt	v.s.	glt
Položaj	j	rub	mtx	j	rub	j	rub	j	rub	j	rub	mtx	j	rub	mtx	mtx	mtx	klast
Br. anal.	4-33	4-35	4-47	5-87	5-88	6a-15	6a-16	6b-03	6b-05	5-62	5-63	4-48	4-68	4-69	5-99	8-18	4-41	6b-40
SiO <sub>2</sub>	54,87	54,13	52,21	53,28	52,67	53,19	52,06	52,10	52,47	42,31	42,52	50,98	50,88	47,63	0,15	0,83	73,93	53,26
TiO <sub>2</sub>	0,21	0,28	0,40	0,15	0,25	0,21	0,43	0,66	0,56	2,67	2,52	n.a.	n.a.	n.a.	46,09	15,44	1,09	0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,63	2,00	0,83	0,83	1,94	1,53	3,07	3,38	3,02	13,44	13,05	32,02	32,28	34,76	0,00	1,65	11,86	3,61
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21	0,12	0,02	0,03	0,05	0,22	0,49	0,14	0,19	0,00	0,03	n.a.	n.a.	n.a.	0,00	0,08	0,03	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	9,05	8,68	0,77	0,16	0,20	42,83	66,74	3,34	27,24
FeO	13,48	14,49	25,44	18,98	17,78	6,26	6,30	7,88	7,32	2,82	3,66	n.a.	n.a.	n.a.	7,87	13,01	0,00	0,00
MnO	0,26	0,32	0,58	0,37	0,33	0,24	0,22	0,21	0,22	0,17	0,13	n.a.	n.a.	n.a.	0,51	0,38	0,04	0,03
MgO	27,69	26,39	17,93	23,56	24,04	17,69	16,61	15,24	14,99	13,53	13,14	n.a.	n.a.	n.a.	1,44	0,50	0,20	4,46
CaO	1,28	1,42	2,57	1,14	1,27	19,73	20,08	19,26	20,03	10,58	10,43	13,78	14,14	16,42	0,17	0,25	1,56	0,46
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,04	0,00	0,02	0,10	0,16	0,15	0,16	1,68	1,69	3,12	3,15	1,79	0,00	0,00	3,51	0,05
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,54	0,20	0,12	0,07	0,00	0,00	2,74	7,22
H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,07	2,05	-	-	-	-	-	-	4,24
Ukupno	99,64	99,17	100,02	98,33	98,35	99,55	99,41	99,02	98,96	98,87	98,42	100,88	100,73	100,87	99,06	100,32	98,32	100,72
Si	1,967	1,961	1,985	1,988	1,956	1,956	1,920	1,934	1,948	6,136	6,205	2,299	2,296	2,161	0,006	0,021	-	3,763
Ti	0,006	0,008	0,011	0,004	0,007	0,006	0,012	0,018	0,016	0,291	0,277	-	-	-	1,361	0,302	-	0,007
Al	0,069	0,085	0,037	0,036	0,085	0,066	0,133	0,148	0,132	2,296	2,244	1,702	1,717	1,859	0,000	0,050	-	0,301
Cr	0,006	0,004	0,000	0,001	0,001	0,006	0,014	0,004	0,006	0,000	0,003	-	-	-	0,000	0,002	-	0,001
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,987	0,953	0,026	0,006	0,007	1,266	1,305	-	1,448
Fe <sup>2+</sup>	0,404	0,439	0,809	0,592	0,552	0,193	0,194	0,245	0,227	0,343	0,446	-	-	-	0,258	0,283	-	0,000
Mn	0,008	0,010	0,019	0,012	0,011	0,007	0,007	0,007	0,007	0,021	0,016	-	-	-	0,017	0,008	-	0,001
Mg	1,480	1,425	1,017	1,310	1,331	0,970	0,913	0,843	0,830	2,925	2,857	-	-	-	0,085	0,019	-	0,470
Ca	0,049	0,055	0,105	0,045	0,050	0,777	0,794	0,766	0,797	1,644	1,630	0,666	0,684	0,798	0,007	0,007	-	0,035
Na	0,001	0,000	0,003	0,000	0,002	0,007	0,011	0,010	0,012	0,472	0,477	0,273	0,276	0,158	0,000	0,000	-	0,006
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,102	0,101	0,012	0,007	0,004	0,000	0,000	-	0,651
Mg#	78,5	76,4	55,7	68,9	70,7	83,4	82,4	77,5	78,5	89,5	86,5	-	-	-	-	-	-	-
An	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70,9	71,2	83,5	-	-	-	-

j = jezgra, rub = rub fenokristala, mtx = mikrolit u matriksu; opx = ortopiroksen, cpx = klinopiroksen, amp = amfibol, pl = plagioklas, psbr = pseudobrukit, hmt = hematit, v.s. = vulkansko staklo, glt = glaukonit. Početni broj analize odgovara uzorku stijene (npr. 4- je uzorak str-4). Mg# = 100\*Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>). Za način izračuna formula vidjeti poglavlje Kemijski sastav minerala. Kratice silikatnih minerala su prema SLOVENEC & BERMANEC (2006).

### 5.2.2. Amfiboli

Za klasifikaciju i nomenklaturu kalcijskih amfibola umjesto izvornog dijagrama  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  prema broju Si i.p.f.j. (LEAKE i dr., 1997), upotrijebljena je preglednija klasifikacijska shema koja uzima u obzir odnos tetraedrijskog aluminija ( $Al^{IV}$  i.p.f.j.) prema zbroju iona Na i K u strukturnoj poziciji A  $[(Na+K)_A]$  (Sl. 5-4). Strukturno-kemijske formule amfibola računate su na bazi 23 aniona kisika, ukupno 13 kationa p.f.j., bez Ca, Na i K, i 2 OH skupine (Tablica 1). Sadržaj  $H_2O$  je određen računski i stehiometrijski odgovara 2(OH) p.f.j. analiziranog amfibola.

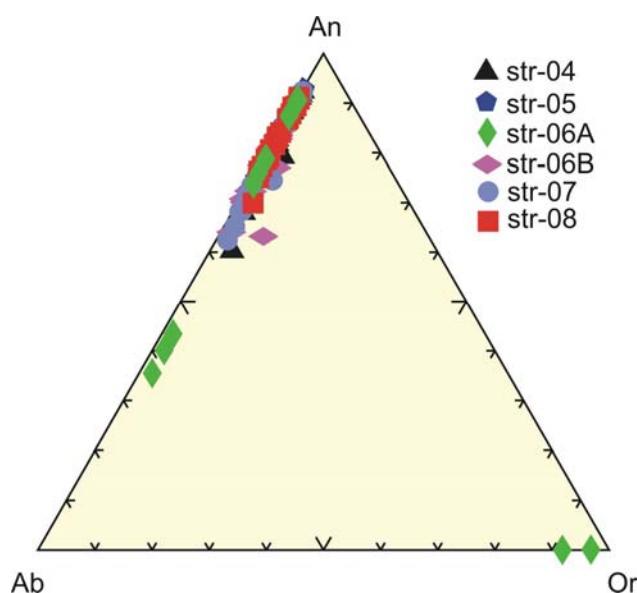
Prema analitičkim podacima amfiboli se svrstavaju u skupinu kalcijskih amfibola ( $Ca_B > 1,50$ ). Primarni magmatski amfiboli sastavom odgovaraju pargazitu, rjeđe edenitu ili magneziohornblendu. U blago alteriranim uzorcima primarni amfiboli alterirani su u aktinolit (Sl. 5-4).



**Slika 5-4.**  $Al^{IV}$  [i.p.f.j.] –  $(Na + K)_A$  [i.p.f.j.] klasifikacijski dijagram za kalcijске amfibole (prerađeno prema LEAKE i dr., 1997).

### 5.2.3. Feldspati

Analizirani feldspati imaju široki raspon kemijskog sastava. Pripadaju plagioklasima i K-feldspatu (Sl. 5-5). Plagioklasi se sastavom svrstavaju u dvije skupine. Jednu čine plagioklasi sastava andezina ( $An_{35,5-43,4}$ ) prisutni u klastima pješčenjaka a drugi tip je plagioklas u vulkanskim bombama koji je značajno bazičniji i sastavom varira od labradora do anortita ( $An_{60,3-92,7}$ ). Klasti K-feldspata u pješčenjacima imaju sastav ortoklasa ( $Or_{91,8-96,9}Ab_{3,2-8,2}$ ). Veliki fenokristali plagioklasa mogu biti normalno i reversno zonirani unutar istog zrna (Tablica 1). Formule feldspata računate su na bazi 8 aniona kisika i ukupnog Fe kao iona  $Fe^{3+}$ .



**Slika 5-5.** Prikaz sastava feldspata u Ab-An-Or klasifikacijskom dijagramu.  $Ab = 100*Na/(Na + Ca + K)$ ,  $An = 100*Ca/(Na + Ca + K)$ ,  $Or = 100*K/(Na + Ca + K)$ .

#### **5.2.4. Fe-Ti oksidi**

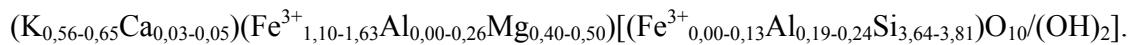
Fe-Ti-oksidi mjereni su u uzorcima *str-4*, *str-5* i *str-8* gdje tvore do 5 vol. % stijene. Njihov kemijski sastav ukazuje na pripadnost izomorfnoj skupini pseudobrukita  $2\text{TiO}_2*\text{FeO} - \text{TiO}_2*\text{Fe}_2\text{O}_3$  u uzorcima *str-4*, *str-5* i ilmenita-hematita  $\text{FeTiO}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  u uzorku *str-8* (Tablica 1). Formule su računate na bazi 5 aniona kisika p.f.j. i ukupno 3 kationa p.f.j. za pseudobrukite i 3 aniona kisika p.f.j. i ukupno 2 kationa p.f.j. za ilmenit-hematit. Pseudobrukiti imaju zbirnu formulu  $\text{Ti}_{1,32-1,36}\text{Fe}^{3+}_{1,25-1,35}\text{Fe}^{2+}_{0,21-0,27}\text{O}_5$ , a kristal mješanac ilmenit-hematita  $\text{Fe}^{2+}_{0,28}\text{Ti}_{0,30}\text{Fe}^{3+}_{1,31}\text{Al}_{0,05}\text{O}_3$ .

#### **5.2.5. Vulkansko staklo**

Svježe smeđe vulkansko staklo u analiziranim uzorcima sastavom odgovara riolitnim magmama promjenjivog kemijskog sadržaja (Tablica 1).  $\text{SiO}_2$  je u rasponu od 71,5 % do 78,3 %, ukupni sadržaj alkalijskih oksida varira u rasponu od 5,1 % do 6,9 % pri čemu je omjer  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  vrlo promjenjiv (0,78 – 2,09). Alterirane odnosno devitrificirane domene u uzorku *str-5* pokazuju značajno smanjenje sadržaja  $\text{SiO}_2$  (51 – 54 %), alkalijskih elemenata i sume oksida uz porast sadržaja Fe, Mg, Ca što je tipično za formiranje smektitnih glina na račun vulkanskog stakla.

#### **5.2.6. Glaukonit**

Glaukonit se nalazi u *str-6b* u formi strukturno zrelih klasta. Strukturne formule ovih glaukonita računate su na bazi 11 kisika uz ukupno Fe u  $\text{Fe}^{3+}$  obliku. Sadržaj  $\text{H}_2\text{O}$  je određen računski i stehiometrijski odgovara  $2(\text{OH})$  p.f.j. analiziranog glaukonita (Tablica 1). Zbirna formula na bazi 6 pojedinačnih analiza glaukonitičnog materijala otkriva kemijski zreo glaukonit:



### **5.3. Kemijski sastav vulkanskih stijena**

Sadržaj glavnih elemenata izražava se u težinskim postotcima oksida. Elementi u tragovima, uključivši i elemente rijetkih zemalja (Rare Earth Elements, REE), prisutni su u stijenama s koncentracijama manjim od 0,1 mas.% i njihov sadržaj se izražava u ppm jedinicama. Tablica 2 prikazuje te podatke i molarni indeks magnezičnosti (Mg#) kao relativni pokazatelj kristalne frakcionacije u analiziranim uzorcima vulkanskih bomba.

Analizirane stijene imaju neutralni kemizam ( $\text{SiO}_2 = 52 - 63$  mas. %) osim uzorka *str-8* čiji je kemizam kiseli. Ukupni sadržaj  $\text{MgO} + \text{FeO}_{\text{uk}}$  je nizak i koleba između 8 i 9 mas. %, a u uzorku *str-8* iznosi 1,25 mas. %. Prevaga kalcija ( $\text{CaO}$ ) nad alkalijskim elementima ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) posljedica je povećanog udjela naročito bazičnih plagioklasa a dijelom i Ca-piroksena.

Sadržaj elemenata u tragovima, uključivši i neke REE, prikazuje se pomoću normaliziranog multielementnog dijagrama relativnih koncentracija normaliziranih prema koncentracijama u odgovarajućem etalonu. Zbog oblika krivulja relativne koncentracije ovakvi dijagrami su poznati pod kolokvijalnim nazivom spider (= pauk) dijagrami. U spider dijagramu elementi se redaju slijeva na desno po rastućoj kompatibilnosti prema krutoj fazi u ravnoteži s malom količinom parcijalne taljevine. Na osi ordinate nanesene su vrijednosti omjera mjerene koncentracije u uzorcima vulkanskih bomba i koncentracije istovrsnog elemenata u primitivnom plaštu (HOFMANN, 1988). U analiziranim uzorcima inkompatibilni litofilni elementi velikog ionskog radiusa (Large Ion Lithophile Elements, LILE) pokazuju snažno relativno obogaćenje u odnosu na kompatibilne elemente (Sl. 6-4). Pri tom su upečatljive negativne geokemijske anomalije elemenata visokog ionskog potencijala (High Field Strength Elements, HFSE) tj. para elemenata Ta-Nb, te elemenata P i Zr koje su karakteristične za stijene derivirane iz plaštnog klina u području subdukcije i/ili materijalnim udjelom kontinentalne kore u evoluciji magmatskog sustava.

Mjerene koncentracije REE normaliziraju se s obzirom na koncentracije u hondritnom meteoritu ili nekom drugom podesnom etalonu. Na taj se način dobiju karakteristični varijacijski dijagrami (REE patterns) karakteristični za magmatske stijene pojedinih geotektonskih režima. Prikaz koncentracije REE u analiziranim uzorcima vulkanskih bomba u odnosu na koncentracije u hondritnom meteoritu (EVENSEN i dr., 1978) nalazi se na sl. 6-5. Lantanidi su poredani iz lijeva prema rastućem atomskom broju odnosno od najlakših elementa (Light Rare Earth Elements, LREE) do najtežih elemenata rijetkih zemalja (Heavy Rare Earth Elements, HREE).

REE su općenito inkompatibilni s opadajućim intenzitetom inkompatibilnosti prema HREE. Osjetljivi su indikatori magmatske provenijencije i petrogenetskih procesa i po tome nezaobilazni u geokemijskim istraživanjima a posebno, zbog imobilnosti, u alteriranim i metamorfoziranim magmatskim stijenama.

Tablica 2. Kemijske analize uzoraka vulkanskih bomba u maceljskim pješčenjacima kod Strupara

Uzorak Stijena	str-04 A	str-05 A	str-06 A	str-07 A	str-08 D
SiO <sub>2</sub>	58,32	59,60	57,04	59,17	68,27
TiO <sub>2</sub>	0,76	0,74	0,77	0,71	0,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,09	17,06	17,23	17,15	15,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,10	1,75	2,03	1,38	2,18
FeO	5,35	4,95	4,95	4,95	0,70
MnO	0,12	0,12	0,11	0,11	0,01
MgO	3,97	3,27	3,86	3,52	0,56
CaO	7,78	7,18	7,86	7,27	5,77
Na <sub>2</sub> O	2,33	2,59	2,41	2,32	2,16
K <sub>2</sub> O	1,34	1,19	1,02	1,54	2,19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14
LOI	0,59	1,33	1,37	0,53	2,63
Ukupno	98,88	99,89	98,77	98,77	100,21
Mg#	55,34	49,78	53,01	52,96	29,30
Cs	3,0	3,5	2,6	1,8	2,2
Rb	60	58	46	45	79
Ba	229	259	208	242	272
Th	6,6	7,4	7,1	7,0	7,3
U	2,0	1,9	1,7	1,9	1,9
Ta	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8
Nb	8,2	8,2	7,7	8,5	7,8
Pb	4,2	4,2	3,5	6,0	3,2
Sr	405	402	405	425	409
Zr	113	126	118	123	118
Hf	3,3	3,6	3,5	3,6	3,4
Y	22	20	18	20	19
Cr	56	9	66	46	15
Ni	1,3	1,5	2,6	1,2	2,0
V	128	87	107	98	67
La	19,8	20,4	16,9	20,2	20,0
Ce	40,5	43,8	37,1	44,5	42,2
Pr	5,03	5,22	4,44	5,39	5,01
Nd	19,9	21,1	17,8	21,9	20,6
Sm	4,0	3,8	3,2	4,1	3,5
Eu	1,05	1,04	0,97	1,02	0,96
Gd	4,15	3,81	3,34	3,84	3,47
Tb	0,71	0,65	0,55	0,67	0,62
Dy	4,02	3,77	3,14	3,72	3,39
Ho	0,78	0,68	0,63	0,68	0,63
Er	2,43	2,10	1,82	2,04	1,89
Tm	0,30	0,28	0,26	0,26	0,24
Yb	2,16	1,94	1,71	2,07	1,54
Lu	0,33	0,31	0,26	0,32	0,24

-Oksidi u masenim %, elementi u ppm jedinicama.  
Mg# = 100\*MgO/(MgO + 0,9\*FeO<sub>ukupno</sub>). A = andezit, D = dacit.

## **6. DISKUSIJA**

### **6.1. Uvjeti sedimentacije**

Područje sjeverozapadne Hrvatske (okolice Macelja, Trakošćana i Ravne gore) izgrađeno je od specifičnih miocenskih naslaga – dominantno glaukonitnih pješčenjaka te pratećih vulkanskih stijena, piroklastita te vulkanogenih sedimenata. ŠIMUNIĆ i dr (1990) smatraju da se maceljski pješčenjaci mogu definirati kao Macelj formacija, no obzirom na istovremenost taloženja glaukonitnih pješčenjaka i vulkansku aktivnost prisutnu kroz taloženje piroklastita (npr. kod Gornjeg ili Donjeg Jesenja) kao i prisutnost krupnih vulkanskih (andezitnih) bombi opisanih u ovom radu, trebalo bi u Macelj formaciju ubrojiti glaukonitne pješčenjake, vulkanske stijene te prateće piroklastične i/ili vulkanogene sedimente. I ovaj rad pokazuje izravan utjecaj vulkanizma tijekom taloženja maceljskih pješčenjaka.

Prema ranijim autorima (ŠIMUNIĆ i dr., 1988, 1990) starost Macelj formacije odgovara starijem miocenu odnosno eger-egenburgu. U podini maceljskih pješčenjaka nalaze se piroklastične stijene, odnosno tufovi na lokalitetu Jesenje (TIBLJAŠ & ŠČAVNIČAR, 1988). Prema ŠIMUNIĆ i dr. (1988, 1990) najstariji horizonti maceljskih pješčenjaka taloženi su u plitkom marinskom okolišu uz izravan utjecaj sinsedimentacijskog vulkanizma. Piroklastični materijal dospijevao je u more spiranjem s obližnjih terena izgrađenih od vulkanskih stijena, dok je dio čestica vulanskog pepela bio donošen vjetrom, što ukazuje na sinsedimentacijski vulkanizam. Donos vulkanskog materijala u početku taloženja bio je uglavnom vjetrom (član Vučji jarek koji odgovara izdvojenom litotipu C prema KOMPAT, 2002), no u kasnijoj fazi tijekom smirivanja vulkanske aktivnosti, sitniji vulkanski materijal bio je pretežno donošen vodenim tokovima i taložen u plitkom moru (ŠIMUNIĆ i dr., 1990) uz taloženje člana Čemernica koji odgovara izdvojenom litotipu B i B/C prema KOMPAT (2002).

Na osnovi bušotinskih podataka obrađenih u ovom radu gdje maceljski pješčenjaci izravno naliježu na masivni tok dacita može se zaključiti da je inicijalni vulkanizam imao dacitni kemizam. Doprinos dacitnog vulkanizma, eksplozivnog karaktera sa zapada i sjeverozapada u taloženju maceljskih pješčenjaka zabilježen je prisustvom vulkanskog pepela u najstarijim naslagama Macelj formacije (ŠIMUNIĆ i dr. 1988; TIBLJAŠ & ŠČAVNIČAR, 1988).

Kasniji andezitni vulkanizam je dijelom bio površinski o čemu svjedoče istražene vulkanske bombe. Bliski vulkani hranili su sedimentacijski bazen izravno vulkanskim materijalom u obliku andezitnih lapila i bomba, vezikularnih čestica (plovučac) ili čestica vulkanskoga pepela (Sl. 6-1). U taloženju mlađih jedinica Macelj formacije dolazilo je do prinosa vulkanoklastičnog i epiklastičnog materijala spiranjem s okolnih terena, koji je zatim taložen zajedno s klastima deriviranim iz udaljenijeg izvorišnog područja koje odgovara prerađenom orogenu (KOMPAR, 2002).

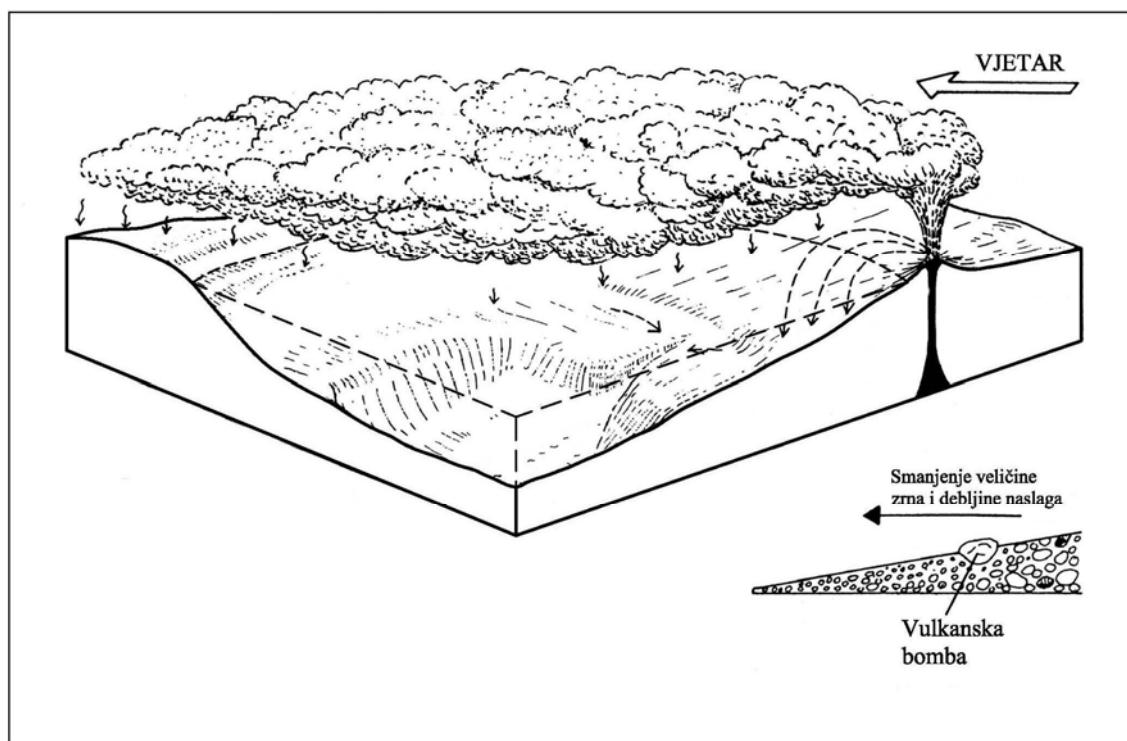
Istraženi primjer jezgre bušotine Strupari predstavlja uvjete sedimentacije izravno utjecane vulkanskom aktivnošću. Prisutnost krupnih vulkanskih klasta – bombi unutar Maceljskih pješčenjaka do sada nije bila poznata, odnosno opisana. Vulkanske bombe ili lapili sastavom odgovaraju andezitu. Veličina im je u prosjeku 70 mm što ih prema McPHIE (1993) klasificira kao vulkanske bombe. Bombe imaju visoki sfericitet i zaobljenost, tamne su do crne, poneke su pravilni elipsoidi maksimalno veliki 10 x 5 cm. Karakterizira ih do 7 mm debelo žutosmeđi obrub naizgled karakterističan za balističku akrecijsku piroklastiku (akrecijski lapili/bombe). Obrub je vitrofiran i u velikoj mjeri devitrificiran za razliku od preostalog dijela bombe koji je holokristalan i vrlo svjež. Međutim, mikroskopska istraživanja pokazala su da akrecijski fenomeni na istraženim klastima ne postoje već da rubovi predstavljaju kontakt još potpuno neohlađenog vulkanskog stakla i morske vode. Zvjezdaste pukotine – litofize uočene u bombama, svjedoče o naglom hlađenju. Andezitne bombe su u marinski taložni okoliš dospijevale kao još potpuno neohlađeni fragmenti. Na kontaktu bombi i morske vode došlo je do brzog hlađenja te se na samom obrubu skrunulo vulkansko staklo koje je kasnije izmijenjeno devitrifikacijom i trošenjem. Unutrašnjost andezitnih bombi se međutim hladila sporije, moguće zahvaljujući tome što je stvoren čvrsti hijalini obrub, te je zbog toga unutrašnjost vulkanoklasta pretežno holokristalina.

Osim prisustva vulkanskih bombi na vulkansku aktivnost također upućuje prisustvo vulkanskih čestica pješčanih dimenzija unutar maceljskih pješčenjaka, prisustvo kristaloklasta K-feldspata i plagioklasa, te svakako prisustvo klasta zrelog glaukonita (eng. glauconite) i glaukonitičnog materijala (eng. glaucony) u vezivu pješčenjaka.

Prisustvo glaukonita u pješčenjaku također svjedoči o vulkanskoj sinsedimentacijskoj aktivnosti jer vulkanski substrat u uvjetima brze transgresije lako prelazi u glaukonit visoke strukturne i kemijske zrelosti (TUCKER, 1991). Glaukonit u pješčenjacima nastaje kao produkt dijogeneze primarno akumuliranog vulkanskog materijala u marinskim uvjetima sedimentacije (DEER i dr., 1969, TUCKER, 1991).

Velika količina glaukonita u klastičnim sedimentima može ukazivati na primarni smektitni matriks i njegovo vulkansko porijeklo (procesi halmirolize alumosilikata i vulkanskoga stakla), te na kasniju transformaciju smektita u glaukonit uz specifično zahtjevne marinske sedimentacijske uvjete. U okolišu taloženja maceljskih pješčenjaka je prisustvo glaukonita izravno utjecano vulkanskom aktivnošću (ŠIMUNIĆ i dr. 1990, KOMPAR 2002). Pretpostavlja se da se postanak glaukonita može vezati za glaukonitizaciju vulkanskog pepela prisutnog u klastitima koji je u sediment dospio bilo izravnim taloženjem vulkanskoga pepela bilo preradom terena izgrađenih od vulkanskih i piroklastičnih stijena (ŠIMUNIĆ i dr., 1988, 1990; KOMPAR, 2002). Zbog toga je u ovom istraživanju glaukonit interpretiran ili kao autigena faza ili kao pretaloženi klast. O tome svjedoče i podaci o različitoj zrelosti glaukonitnih zrna. Dobro zaobljena i u kemijskom smislu vrlo zrela zrna glaukonita ukazivala bi na pretaloživanje.

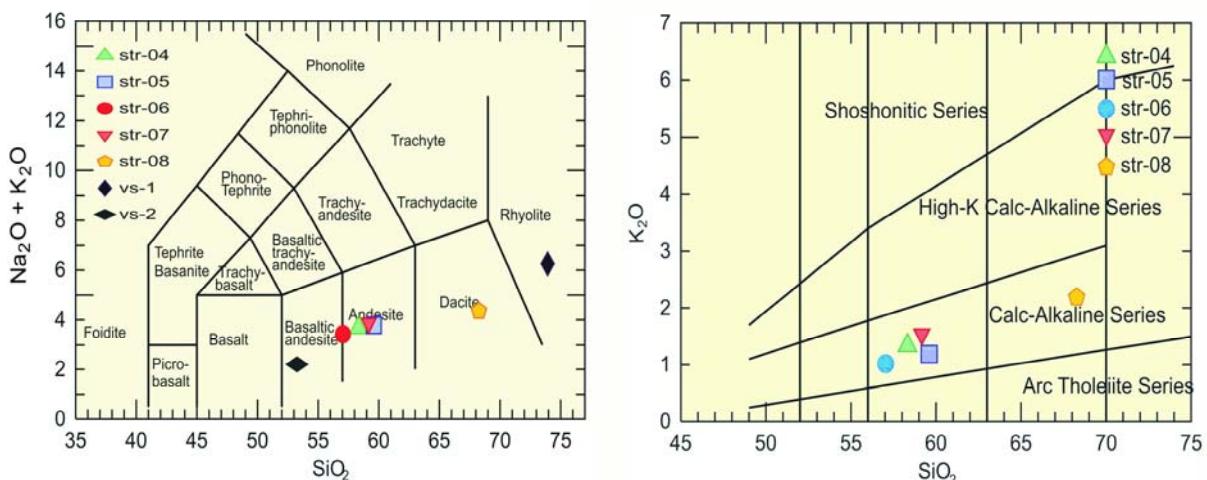
U jednom uzorku vulanske bombe bogate vulkanskim stakлом također je prisutan glaukonit kao jasni produkt izmjene stakla, te se njegova geneza unutar sedimenta može također povezati s procesom transformacije nestabilnog vulkanskog materijala. U idealnim uvjetima za takvu transformaciju je potrebno najviše milijun godina (ODIN & MATTER, 1981). Datiranje glaukonita bi u tom slučaju odredilo gornju vremensku granicu dacitnih erupcija na koje je genetski povezan, te donju granicu za eksplozivne andezitne erupcije s kojima nije u genetskoj vezi.



**Slika 6-1.** Prikaz andezitnog vulkanizma u sinsedimentacijskim uvjetima taloženja.

## 6.2. Klasifikacija vulkanskih stijena

Na temelju sadržaja alkalijskih oksida ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) i  $\text{SiO}_2$  (TAS dijagram) izvršena je klasifikacija pet reprezentativnih uzoraka stijena. Četiri uzorka vulkanskih bombi projiciraju se u polje andezita a uzorak masivnih vulkanskih stijena u podini maceljskih pješčenjaka, uzorak str-08, nalazi se u polju dacita (Sl. 6-2). Ovaj potonji sadrži izolirane nakupine kvarca koje bi mogle biti krustalni uključci. Budući da je indeks magnezičnosti ovog uzorka najniži ( $\text{Mg}\# = 29,3$ ; Tablica 2) i u skladu je s visokim sadržajem  $\text{SiO}_2$  i alkalijskih oksida, kvarc je ocijenjen kao primarni magmatski mineral, odnosno uzorak predstavlja dacitnu stijenu.



**Slika 6-2** (lijevo). IUGS ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) –  $\text{SiO}_2$  dijagram za klasifikaciju i nomenklaturu vulkanskih stijena (Le BAS i dr., 1986).

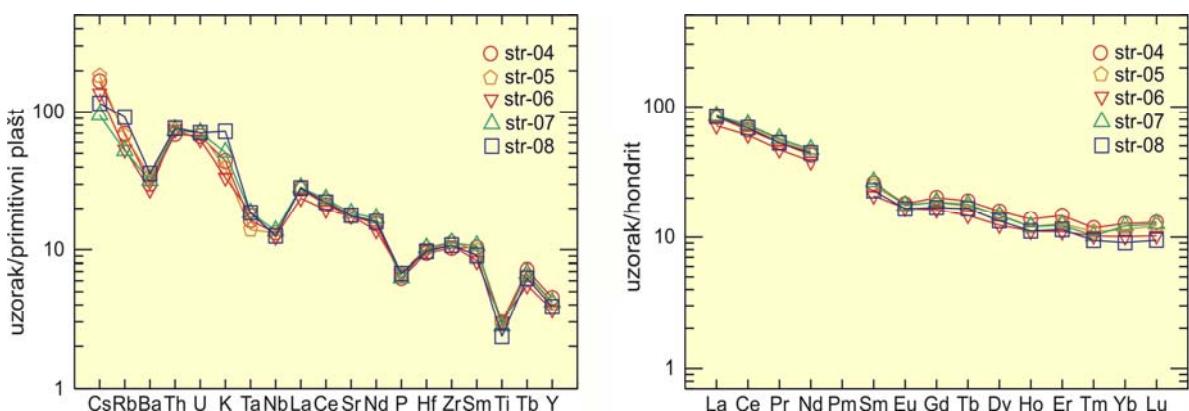
**Slika 6-3** (desno).  $\text{K}_2\text{O}$  -  $\text{SiO}_2$  dijagram za klasifikaciju i nomenklaturu vulkanskih stijena u smislu pripadnosti seriji vulkanskih stijena (PECCERILLO & TAYLOR, 1976).

Dijagram varijacije sadržaja  $\text{K}_2\text{O}$  u odnosu na  $\text{SiO}_2$  služi za razvrstavanje vulkanskih stijena u serije. Analizirane vulkanske stijene pripadaju (normalnoj) kalcijsko-alkalijskoj seriji stijena (Sl. 6-3) i geokemijski se potpuno podudaraju s istovrsnim stijenama rasprostranjenim uzduž lineamenta Velenje-Rogatec (Sl. 2-1) koje su analizirane u ALTHERR i dr. (1995).

### 6.3. Magmatska provenijencija i petrogenеза

Za određivanje i karakterizaciju izvorišta magmatizma poseban geokemijski značaj imaju elementi rijetkih zemalja (REE) i elementi Rb, Cs, Ba, Sr, Y, Zr, Hf, Nb i Ta jer zbog male koncentracije i inkompatibilnosti ne tvore vlastite faze već se izomorfno ugrađuju u kristalnu rešetku kristalizirajućih minerala. Tijekom kasnog stadija diferencijacije magme inkompatibilni elementi mogu doseći potrebne koncentracije za tvorbu vlastitih mineralnih faza.

U dijagramu normaliziranih koncentracija dijagnostičkih elemenata, odnosno u spider dijagramu (Sl. 6-4), analizirane stijene imaju slične varijacije relativnih koncentracija. Sve imaju negativne anomalije Ta-Nb, P i Ti što je karakteristično za stijene iz zona subdukcije i/ili za stijene nastale značajnim dodatkom krustalnog materijala frakcionirajućim magmama plaštnog podrijetla. Uz to, stijene imaju i netipičnu Ba negativnu anomaliju koja je karakteristična za vulkanske stijene lineamenta Velenje-Rogatec (ALTHERR i dr., 1995). Intenzitet negativnih anomalija je isti i ne ovisi o stupnju frakcionacije stijene te su navedene anomalije najvjerojatnije naslijedene od izvornog pirolita.



**Slika 6-4** (lijevo). Dijagram koncentracija elemenata u vulkanskim stijenama Ravne gore normaliziranih prema vrijednostima u primitivnom plasti (spider dijagram).

**Slika 6-5** (desno). Dijagram koncentracija elemenata rijetkih zemalja u vulkanskim stijenama Ravne gore normaliziranih prema vrijednostima u hondritnom meteoritu.

Za analizirane stijene značajno je obogaćenje elemenata laganih rijetkih zemalja (LREE) 6 do 9 puta u odnosu na elemente teških rijetkih zemalja (HREE) [ $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 6,2 - 8,8$ ]. Uzroci ovakvim odnosima traže se u uplivu krustalnog materijala u plaštni klin

tijekom ranije subdukcije ili kasnije, tijekom postkolizijskog tektonskog režima izravno u ascendirajuću magmu.

Oblik krivulja varijacije normaliziranih koncentracija u skladu je s opaženom frakcionacijom fenokristala, većinom plagioklasa i u manjoj mjeri piroksena što se očituje u negativnoj Eu anomaliji ( $\text{Eu/Eu}^* = 0,75 - 0,90$ ). Sudeći po relativnoj koncentraciji umjereni teških elemenata rijetkih zemalja (MREE) frakcionacija amfibola u analiziranim uzorcima bila je sasvim minorna jer bi u slučaju značajnije frakcionacije MREE bili osiromašeni tj. krivulja varijacije REE imala bi konkavni oblik. Izostanak amfibola u većini analiziranih uzoraka upućuje na magmu relativno siromašnu volatilima. Uzorci andezita imaju visoke normalizirane vrijednosti za HREE (Sl. 6-5) i relativno niski omjer normaliziranih vrijednosti za Tb i Yb [ $(\text{Tb/Yb})_{\text{cn}} = 1,4-1,5$ ] što isključuje prisustvo granata tijekom petrogenetskih procesa koji vode erupciji andezita. Dominantna frakcionacija plagiokasa iz volatilima siromašne magme i virtualni izostanak granata u sustavu tijekom geneze analiziranih stijena upućuju na frakcionaciju u plitkim razinama relativno tanke kontinentalne kore.

## **7. ZAKLJUČAK**

Sedimentacijski bazen Ravne gore na primjeru bušotine Strupari bilježi vrlo brzu postkolizijsku ekstenziju popraćenu inicijalnim dacitnim vulkanizmom. U inicijalnoj fazi taloženja donos klastičnog materijala s kopna je minimalan što pogoduje stvaranju kemijski zrelog glaukonita na račun dacitnog piroklastičnog substrata. Na bazi složenih geokemijskih istraživanja zaključeno je da je miocenska transgresija u ovom području bila vrlo brza o čemu sudi kemijski zreli glaukonit formiran iz dacitnog piroklastičnog materijala.

Andezitne bombe i lapili svjedoče o proksimalnoj vulkanskoj aktivnosti u fazi intenzivnog zapunjavanja bazena klastičnim materijalom iz litografski različitih izvorišnih područja. U horizontima s andezitnim vulkanskim bombama nalazi se kemijski nezreo glaukonitični materijal. Analizirane vulkanske stijene, posebno andeziti, frakcionirane su iz plaštnih magma u plitkim razinama relativno tanke kontinentalne kore.

## **8. LITERATURA**

- ALTHERR, R., LUGOVIĆ, B., MEYER, H.-P. & MAJER, V. (1995): Early Miocene post-collisional calc-alkaline magmatism along the easternmost segment of the Periadriatic fault system (Slovenia and Croatia). -Mineral. Petrol., 54, 225-247.
- ANIĆ, D. (1957): Starost andezitnih erupcija u Hrvatskom zagorju, Geol. vjesnik, 11, 261-263.
- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. (1985): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000 - list Rogatec, Savezni geološki zavod, Beograd.
- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. (1985): Tumač za list Rogatec. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, -Savezni geološki zavod, Beograd, 76 str.
- BELOŠEVIĆ, V. (1998): Postojanost "maceljskih pješčenjaka". Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 64 str.
- BOJANIĆ, A., TIŠLJAR, J. & MAJER, V. (1978): Klastični miocenski sedimenti sjeverozapadnog dijela Maceljske gore (Hrvatska, Jugoslavija), Geološki vjesnik, 30/1, 445-452, Zagreb.
- BRAJDIĆ, V. (1978): Piroklastične stijene kod Donjeg Jesenja. Vodič ekskurzije 3. skupa sedimentologa Jugoslavije, 30-31, Zagreb.
- BRAUN, K. (1978): Ležište bentonita Bednja. -Vodič ekskurzije 3. skupa sedimentologa Jugoslavije, 37-43, Zagreb.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. (1969): An introduction to the rock – forming minerals. Longmans, Green and co ltd., London and Harlow, 528 str.
- DREGER, J. (1898): Geologische Specialkarte Österreichisch - Ungarischen Monarchie Rohitsch und Drachenburg, 1 : 75 000. K.K. Geologische Reichsanstalt, Wien.

DROVENIK, M., PLENIČAR, M. & DROVENIK, F. (1980): Nastanek rudišč v SR Sloveniji. Geologija, 23, 1-157.

EVENSEN, N. M., HAMILTON, P. J. & O'NIONS, R. K. (1978): Rare-earth abundances in chondritic meteorites, Geochim. Cosmochim. Acta, 42, 1199-1212.

GOLUB, LJ. & BRAJDIĆ, V. (1969): Piroklastične stijene kod Donjeg Jesenja (Hrvatsko zagorje), Geološki vjesnik 22, 411-422, Zagreb.

GORJANOVIĆ - KRAMBERGER, D. (1904): Geologiska prijegledna karta Kraljevine Hrvatske - Slavonije, Rogatec - Kozje, 1 : 75 000, Zagreb.

HOFMANN, A.W. (1988): Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. Earth Planet. Sci. Letters, 90, 297-314.

JURAK, V. & BELOŠEVIĆ, V. (1999): Postojanost "maceljskih pješčenjaka". Zbornik radova, Znanstveno-stručno savjetovanje Mehanika stijena i tuneli, 47-52.

KIŠPATIĆ, M. (1909): Mlađe eruptivno kamenje u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske. Rad JAZU, 177, 7-145.

KOBER, L. (1952): Leitlinien der tektonik Jugoslawiens. Posebno izdanje SAZU, 189/3, 1-81, Beograd.

KOMPAR, D. (2002): Mikropetrografske i litofacijsne karakteristike maceljskih pješčenjaka. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 42 str.

KOSSMAT, F. (1913): Die adriatische Umrandung in der Alpinen Falten region. Mitt. geol. ges., 6, 61-165, Wien.

LEAKE, B.E. i dr. (1997): Nomenclature of amphiboles, Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral names.- Eur. J. Mineral., 9, 623-651.

Le BAS, M. J., Le MAITRE, R. W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986): A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, 46, 1-22.

MCPHIE, J., DOYLE, M. & ALLEN, R. (1993): Volcanic Textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks. Hobart (Tasmanian Govt. Printing Office).

MIOČ, P. (1978): Tumač za Osnovnu geološku kartu 1 : 100 000, list Slovenj gradec. Geološki zavod Ljubljana, Savezni geološki zavod Beograd, 187, Beograd.

MORIMOTO, N. (1988): Nomenclature of pyroxenes. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 68, 95-111.

ODIN, G. S. & MATTER, A. (1981): De glauconiarum origine. *Sedimentology*, 28, 611-641.

PECCERILLO, A. & TAYLOR, S. R. (1976): Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, 63-81.

POLINSKI, R. K. & EISBACHER, G.H. (1992): Deformation partitioning during polyphas oblique convergence in the Karawanken Mountains, southeastern Alps. *J. Struct. Geol.*, 14, 1203-1213.

SLOVENEC, D. & BERMANEC, V. (2006): Sistematska mineralogija – mineralogija silikata. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Denona Zagreb, 359 str.

ŠIMUNIĆ, An. & PAMIĆ, J. (1993): Geology and petrology of Egerian – Egenburgian andesites from the easternmost part of Periadriatic zone in Hrvatsko zagorje (Croatia). *Acta Geologica Hungarica*, Vol. 36/3, 315-330, Budapest.

ŠIMUNIĆ, An. & ŠIMUNIĆ, Al. (1978): Pregled geološke građe Ivanšćice i Ravne Gore. Vodič ekskurzije 4. znanstvenog skupa Sekcije za primj. geol. geofiz. i geokem. Znanstv. savjeta za naftu JAZU, Stubičke toplice, 1978, 1-27, Zagreb.

ŠIMUNIĆ, Al., ŠIMUNIĆ, An., PIKIJA, M. & AVANIĆ, R. (1988): Utjecaj vulkanizma na sastav "maceljskih pješčenjaka" (sjeverozapadna Hrvatska). Zbornik radova, VI skup sedimentologa Jugoslavije, Geol. glasnik Titograd, posebno izdanje, VI, 229-438.

ŠIMUNIĆ, Al., AVANIĆ, R. & ŠIMUNIĆ, An. (1990): "Maceljski pješčenjaci" i vulkanizam zapadnog dijela Hrvatskog zagorja (Hrvatska, Jugoslavija). Rad JAZU, 179-194.

ŠIMUNIĆ, An., AVANIĆ, R., ŠIMUNIĆ, Al. & HEĆIMOVIĆ, I. (1995): Litostratigrafska raščlamba donjomiocenskih klastita u Hrvatskom zagorju. Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa, 2; 581-584.

TADEJ, N., SLOVENEC, D., TIŠLJAR, J. & INKRET, I. (1997): Glauconitic materials from lower miocene macelj sandstones of the Hrvatsko Zagorje, north - western Croatia. Geologia Croatica, 50/1, 17-25, Zagreb.

TIBLJAŠ, D. & ŠČAVNIČAR, S. (1988): Mineraloško istraživanje klinoptilolita, plagioklasa i seladonita iz tufa Donjeg Jesenja u Hrvatskom zagorju. Geol. vjesnik, 41, 99-117.

TIŠLJAR, J. & ŠIMUNIĆ, Al. (1978): Maceljski pješčenjaci. Vodič ekskurzije III. Skupa sedimentologa Jugoslavije, Zagreb, lipanj 1978, 32-36, Zagreb.

TUCKER, M. E. (1991): Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 260 str.

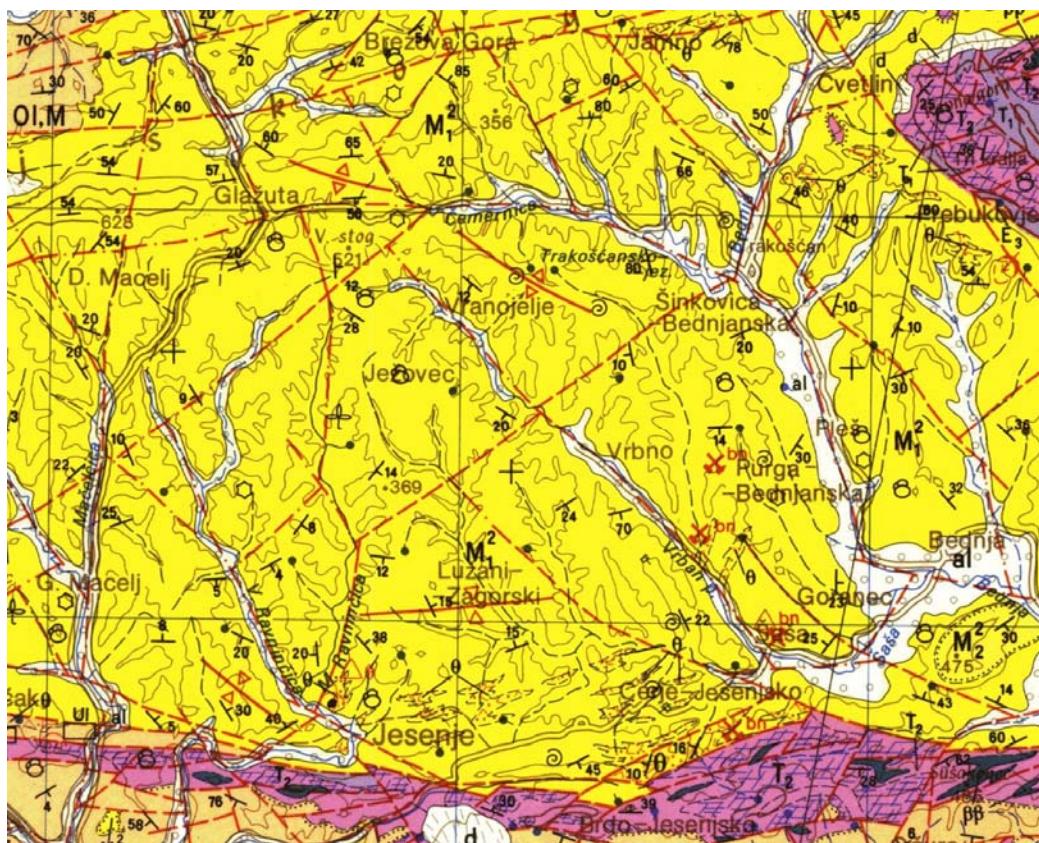
## **9. FOND STRUČNIH DOKUMENATA**

MAGDALENIĆ, Z., SILA, N., ERCEG, B. & BLAČE, M. (1959): Geološko kartiranje područja Bednja – Ivanec – Vinica. Fond stručnih dokumenata, Geološki zavod, 3142, Zagreb.

## PRILOG 1

Osnovna geološka karta – dio lista Rogatec L 33 – 68 (ANIČIĆ & JURIŠA, 1985)

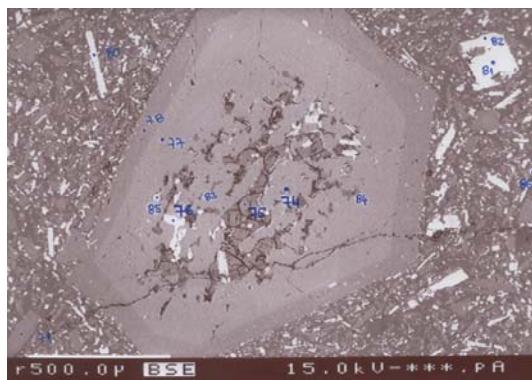
M 1 : 100 000



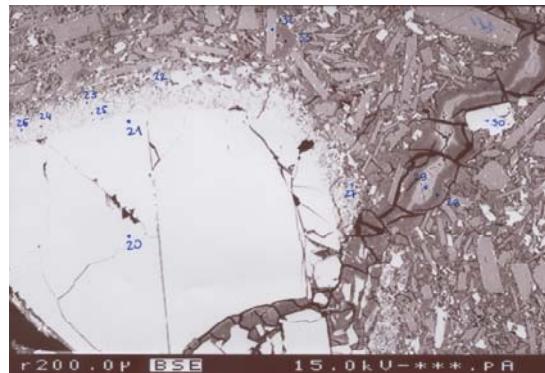
Tumač:

al	Aluvij	T <sub>1</sub>	Glinoviti škriljavci, pješčenjaci, dolomiti, rožnjaci i tuf.	+	Makroflora i mikroflora
d	Deluvij	T <sub>1</sub>	Pješčenjaci, pjeskoviti škriljavci, dolomiti i vaspenci		Pojava ugljena (Um – sredni ugljen, Ul – lignit)
M <sub>1</sub>	Vapneno – kvarcni konglomerati i pješčenjaci (sarmat)	BB	Spilitizirani dijabaz i tuf		Pojava nemetalna (bn – bentonit, - tuf)
M <sub>2</sub>	Lapor, laporoviti vapnenac i pjeskoviti lapor (torton)	///	Normalna granica: vidljiva s padom, pokrivena i prevrнутa		Kamenolom gradevinskog materijala
M <sup>1</sup>	Kvarcni pijesci, pješčenjaci, konglomerati i pjeskovite gline (burdigal)	///	Erozijska ili tektonsko – erozijska granica: vidljiva s padom i pokrivena		Jamski kop (rudnik) : aktivan i napušten
O1.M	Pijesci, pješčenjaci, pjeskovite gline, pjeskoviti lapor i škriljavci	↗ + ↘	Sloj sa smjerom i kutem nagiba, okomiti sloj i vertikalni sloj		
d	Andezit	△/%	Os sinklinale i antiklinale		
	Dolomiti, dolomitne breče i dolomitizirani vaspenci		Rasjed: ustanovljen, pokriven, pretpostavljen i fotografografski opažen		
		◎ ♀ ♂	Morska, brakična i slatkovodna makrofauna		
		⊖	Mikrofauna		

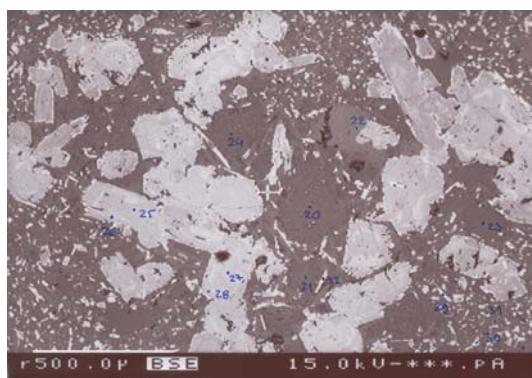
## PRILOG 2



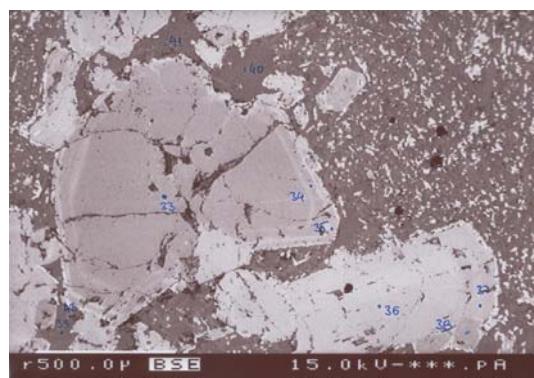
a)



b)



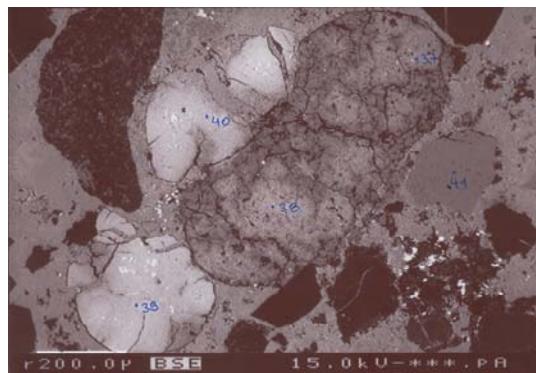
c)



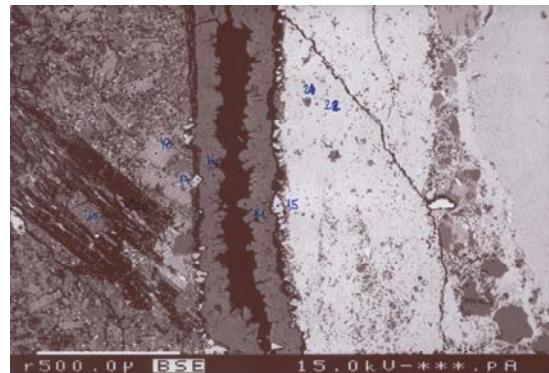
d)

**Prilog 2.** – BSE fotografije (načinjene snopom povratnih elektrona): a) normalno zonirani fenokristal plagioklaza u uzorku *str-5* sa uklopcima vulkanskog stakla; b) fenokristal Ca-amfibola pargazita s rubom alteriranim u aktinolit u uzorku *str-5*; c) aglomerirani mikrofenokristali klinopiroksena i plagioklaza u uzorku *str-4*; d) djelomično zoniran fenokristal ortopiroksena u uzorku *str-4*.

### PRILOG 3



e)



f)

**Prilog 3.** – BSE fotografije (načinjene snopom povratnih elektrona): e) jasno omeđena zrna glaukonita bubrežasta ili ovalna oblika (svijetlo) i svijetlozelene nakupine glaukonitičnog materijala difuzno raspršenog po substratu u uzorku *str-6b*; f) granica vulkanske bombe (lijevo) s pješčenjakom (desno) u uzorku *str-6b*.

## PRILOG 4



19,80 m – 19,50 m



21,20 m – 19,80 m



26,00 m – 23,00 m



27,25 m – 27,00 m



28,60 m – 28,50 m



28,60 m – 29,95 m

**Prilog 4:** Fotografije jezgre istražne bušotine podijeljene u šest intervala između 19,80 i 29,95 m. Vidljivi su uključci vulkanskog materijala u pješčenjaku.