



HRVATSKO GEOLOŠKO DRUŠTVO
Croatian Geological Society
www.geologija.hr

VODIČ STRUČNE GEOLOŠKE EKSKURZIJE U SJEVERNOM MAKEDONIJU

16. - 20. svibnja 2023.

Sabina Strmić Palinkaš, Andrea Čobić, Nikolina Ilijanić



Geografski smještaj Republike Sjeverne Makedonije

Republika Sjeverna Makedonija smještena je na Balkanskom poluotoku, u području gornjeg i srednjeg Povardarja, između Šarsko-pinskog i Rodopskog gorja (Slika 1). Ukupna površina Sjeverne Makedonije iznosi 25.713 km².



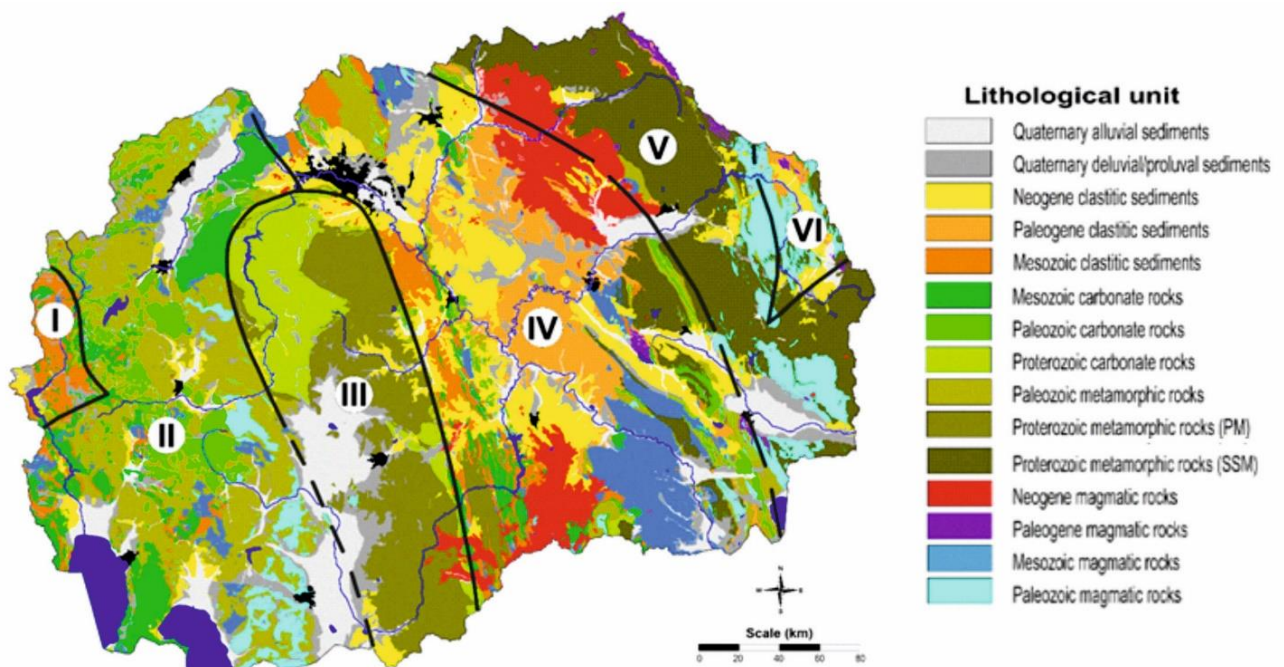
Slika 1. Geografski položaj Republike Sjeverne Makedonije (Izvor: wikipedia.com)

Prema popisu iz 2015. godine, Sjeverna Makedonija ima 2.075.301 stanovnika. U Sjevernoj Makedoniji u službenoj su uporabi dva jezika na državnoj razini: makedonski i albanski. Zakonom o jezicima, koji je stupio na snagu u siječnju 2019., predviđeno je da se makedonski jezik koristi kao službeni u svim aspektima na cijelom teritoriju države i u međunarodnim odnosima, dok se

albanski koristi kao ko-službeni jezik na državnoj razini, ne računajući obranu, središnju policiju i monetarnu politiku, te na razini lokalne samouprave, gdje ima više od 20% govornika tog jezika. U Sjevernoj Makedoniji vlada submediteranska klima koju karakteriziraju vruća i suha ljeta te hladne i vlažne zime. Srednje godišnje temperature opadaju od sjevera prema jugu zemlje. Srednja godišnja količina padalina je u planinama oko 1000 - 1500 mm, a u zavjetrinskim kotlinama 600 - 700 mm.

Geološke karakteristike Republike Sjeverne Makedonije

Prostor Republike Sjeverne Makedonije se sastoji od pet zasebnih geotektonskih jedinica: I) Cukali-Krasta zone; II) Korab-zapadnomakedonska masa; III) Pelagonska masa; IV) Vardarska zone i V) Srpsko-makedonske mase (Slika 2). Sve jedinice generalno pokazuju orijentaciju SSZ-JJI.



Slika 2. Geotektonske jedinice na području Sjeverne Makedonije; I) Cukali-Krasta zona; II) Korab-zapadnomakedonska masa; III) Pelagonska masa; IV) Vardarska zona i V) Srpsko-makedonska masa, prema Petrušev i sur. (2021).



Cukali-Krasta zona

Cukali-Krasta zone većim dijelom nalazi se na teritoriju Albanije, dok je u Sjevernoj Makedoniji zastupljena samo u neposrednoj blizini Debra. Ova geotektonska jedinica predominantno je građena od gornjokrednih konglomerata, pješčenjaka, glinovitih sedimenata i vapnenaca. Ukupna debljina sedimentne sekvence procijenjuje se na oko 1000 m, a od toga 300-400 m grade senonski rudistni vapnenci. U Cukali-Krasta zoni nalaze se i pojave evaporita te paleogenskih sedimenata. Starost evaporita nije utvrđena. Prema Aubouine & Ndojaj (1964) evaporiti su trijaske starosti, dok Robertson & Shallo (2000) smatraju da se radi o donjokrednim evaporitima.

Korab-zapadnomakedonska masa

Korab-zapadnomakedonska masa (ili Subpelagonska zona) predstavlja kontinentalni blok smješten između Pelagonske mase na istoku i ofiolita Merdita zone na zapadu. Najstarije stijene Korab-zapadnomakedonske mase paleozojske su starosti. Donji dio Korab-zapadnomakedonske mase gradi kambrijsko-ordovicijski vulkano-sedimentni kompleks metamorfoziran do facijesa zelenog škriljavca. Ovaj kompleks može doseći debljinu između 5 i 7 km, a sačinjavaju ga kvarc-sericitni, kvarc-sericitno-kloritni, grafitni i zeleni škriljavci, metakonglomerati, kvarciti te proslojci mramora. Lokalne pojave metamorfoziranog gabra, dijabaza i riolita su također zabilježene. Kambrijska mikrofauna dokumentirana je u karbonatima na planini Karaorman. Lokalno su pronađeni i ordovicijski trilobiti. Silursko-devonski dio Korab-zapadnomakedonske mase pokazuje karakteristike vrlo-niskog stupnja metamorfizma. Njegova prosječna debljina iznosi oko 2.5 km. Dublji dio silursko-devonskog kompleksa sastoji se od metapješčenjaka, željezovitih šejlova te manjih pojava metariolita i metadijabaza silurske starosti. Gornji dio silursko-devonskog kompleksa čine karbonatni šejlovi te vapnenci s ostacima devonskih fosila, uglavnom brahiopoda, koralja, cefalopoda, krinoida te konodonata (Petrušev *i sur.*, 2021).

U Korab-zapadnomakedonskoj masi, lokalno su prisutni mezozojski sedimenti i vulkaniti te terciarni sedimenti. Trijaski kompleks dobro je vidljiv na Galičici, Petrini, Bistri, Jablanici te Šar Planini. Donji dio kompleksa građen je od konglomerata, pješčenjaka i glinovitih sedimenata prekrivenih tankim slojevima vapnenaca i dolomita te čertovima srednjo- do gornjo-trijaske starosti. Sedimenti često sadrže fosilne ostatke amonita, brahiopoda, gastropoda, konodonata te algi. Jurske



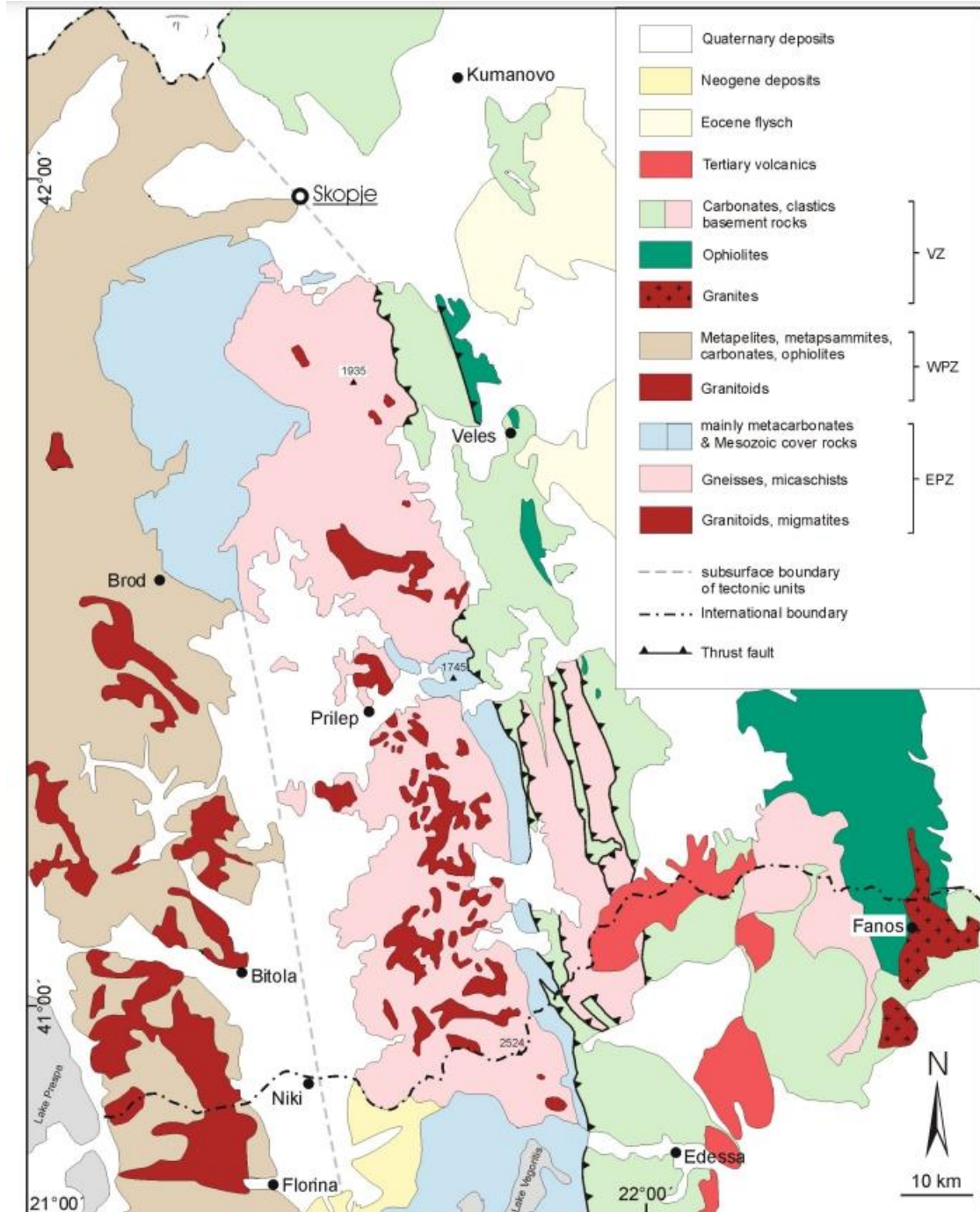
stijene sačuvane su uglavnom na Korabu, Jablanici te u dolini Radike. Pokazuju karakteristike vulkano-sedimentne sekvence, sa donjojurskim konglomeratima, glinovitim sedimentima i vapnencima kroz koje su prodrli dijabaz, gabro te riolit. Granica Korab-zapadnomakedonske mase i Merdita zone karakterizirana je prisustvom tektoniziranih ultramafita (lokaliteti Ljubaništa i Jablanica). Manje pojave jurskih granita također su pronađene u ovoj geotektonskoj jedinici (Petrušev *i sur.*, 2021).

Pelagonska masa

Pelagonska masa predstavlja metamorfozirani kontinentalni blok koji se proteže od Skopja na sjeveru do sjeverne Eubeje na jugu. S obzirom na litološke razlike, Pelagonska masa podijeljena je na dvije podjedinice: Zapadnu pelagonsku zonu i Istočnu pelagonsku zonu (Slika 3).

Zapadna pelagonska zona izgrađena je od prekambrijskih granita, gnajseva i tinjčevih škriljavaca koji su mjestimično prekriveni nemetamorfoziranim paleozojskim kompleksom te kasnojurskim ofiolitima (Most, 2003).

Istočna pelagonska zona u dubljim segmentima uglavnom je građena od granita, migmatita, gnajseva, te proslojaka amfibolita. Plići segmenti karakterizirani su predominacijom metaklastita i metamorfoziranih karbonata. Stupanj metamorfizma uglavnom varira od facijesa zelenog škriljavca do amfibolitnog facijesa. Facijes plavog škriljavca također je zabilježen lokalno te je povezan s kolizijskim procesom datiranim na oko 150 Ma (Dumurdzanov, 1985; Most, 2003).



Slika 3. Pojednostavljena geološka karta Pelagonske mase modificirana na osnovu Osnovnih geoloških karata Sjeverne Makedonije i Grčke (1:500.000). Kratice: EPZ = Istočna pelagonska zona (East Pelagonian Zone); WPZ = Zapadna pelagonska zona (West Pelagonian Zone); VZ = Vardarska zona (Vardar Zone).



Vardarska zona

Vardarska zona predstavlja suturnu zonu između Jadranske i Euroazijske tektonske ploče. Iako ova zona ima elemente kontinentalne i oceanske kore, njom dominiraju dva ofiolitna pojasa SI-JZ pružanja (Zapadni Vardarski ofiolitni pojas i Istočni Vardarski ofiolitni pojas). Ofioliti predstavljaju ostatke Vardarskog oceana, tj. zapadnog dijela Tethysa koji je bio otvoren tijekom trijasa i jure (Karamata, 2006; Schmid *i sur.*, 2020).

Zapadni Vardarski ofiolitni pojas sastoji se od ofiolita i ofiolitnog melanža. Ofiolitne mase, sastavljene od spinelnih lhertzolit, harzburgita i dunita, lokalno pokazuju elemente amfibolitnog đona koji na temelju Ar/Ar datiranja sugerira zatvaranje Tethysa u periodu između 170 i 175 Ma (Borojević Šoštarić *i sur.*, 2014). Jurski i kredni melanž sastoji se od fragmenata trijaskih i jurskih vapnenaca, terigenih sedimenata, mafičnih stijena te čertova s pojavama gornjotrijaskih do gornjojurskih radiolarija. Istočni Vardarski ofiolitni pojas građen je prvenstveno od melanža jurske starosti u kojem prevladavaju fragmenti slabo metamorfoziranih mafičnih stijena (Sudar & Kovacs, 2006).

Srpsko-makedonska masa

Srpsko-makedonska masa predstavlja dominantno kristalinsku jedinicu koja se proteže od sjeveroistočnih Karpata, sve do Egejskoga mora (Antić *i sur.*, 2016). Tvore je Donji kompleks (ekvivalent Ograždenskog bloka u Bugarskoj i Vertiskos jedinice u Grčkoj) i Gornji kompleks ili Vlasinska jedinica (ekvivalent Moravske jedinice u Bugarskoj). Najzastupljenije litologije unutar Srpsko-makedonske mase su razne vrste gnajseva i škriljavaca, amfiboliti i graniti (Antić *i sur.*, 2016) za koje je geokronološki pokazano da su ili one ili njihovi protoliti nastali prilikom kadamijске i variscijske orogeneze (Lehmann *i sur.*, 2013; Antić *i sur.*, 2016).

Gornji i donji kompleks međusobno se razlikuju po litološkim karakteristikama te po stupnju metamorfizma. Donji kompleks predstavlja metamorfoziranu vulkano-sedimentnu sekvencu nastalu u kasnom neoproterozojiku i ranom kambriju duž aktivnog ruba sjeverne Gondwane. Kompleks je metamorfoziran do amfibolitnog facijesa. Gornji kompleks predstavlja ostatke neoproterozojske oceanske kore prekrivene donjoordovicijским do donjokrednim sedimentima. Kompleks je metamorfoziran do facijesa zelenih škriljavaca (Antić *i sur.*, 2016).



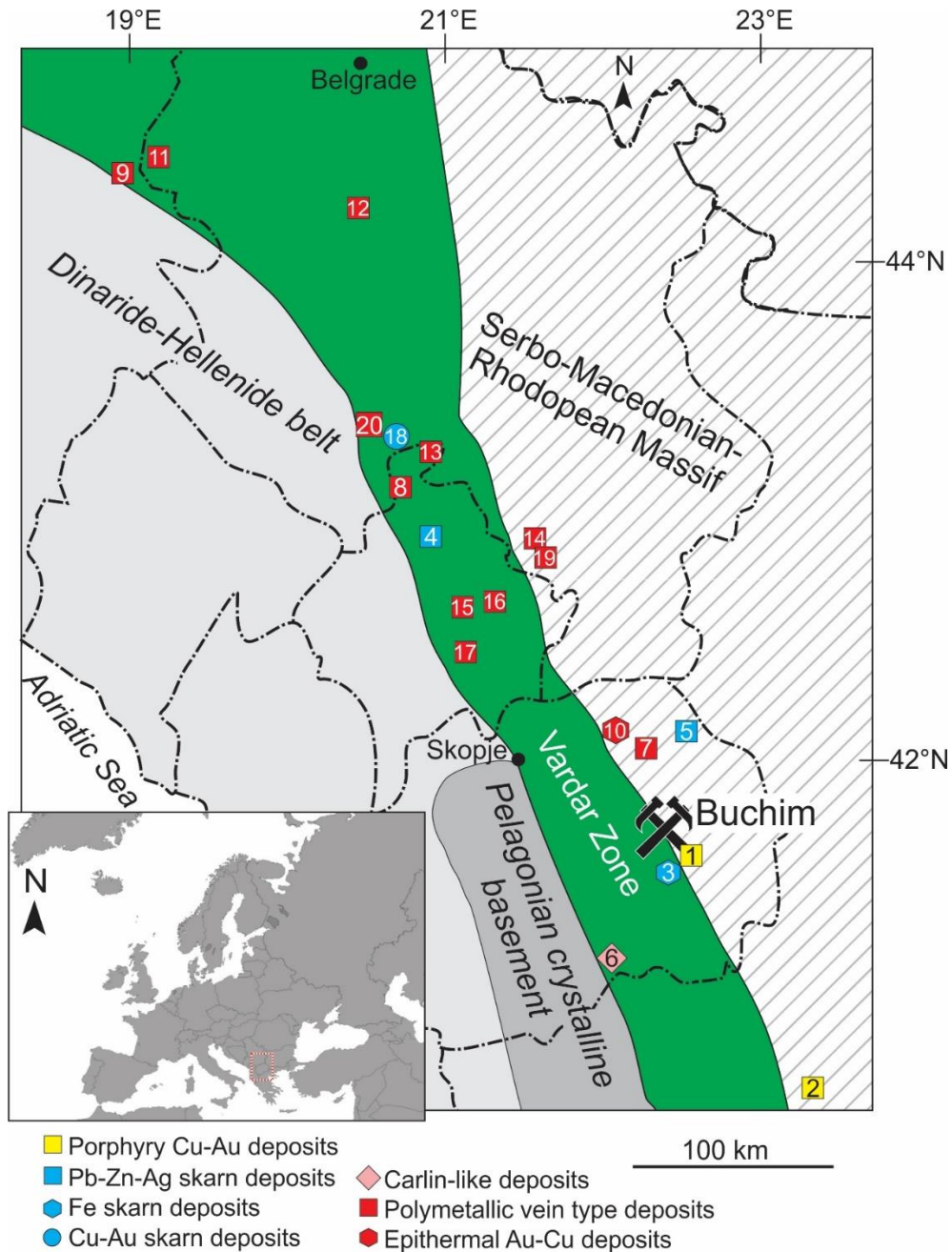
Tercijarni magmatizam u Sjevernoj Makedoniji

U periodu između oligocena i pliocena (29.0 to 1.8 Ma), područje Srpsko-makedonske mase i Vardarske zone bilo je pod snažnim djelovanjem postkolizijskih procesa vezanih uz kolaps Alpinskog Wilsonovog ciklusa. Postkolizijska faza je općenito karakterizirana ekstenzijskom relaksacijom terena koja rezultira reaktiviranjem starijih rasjednih zona. Istovremeno relaksacija terena promovira taljenje u dubljim djelovima debele kontinentalne kore rezultirajući voluminoznim magmatizmom (Cvetković *i sur.*, 2004).

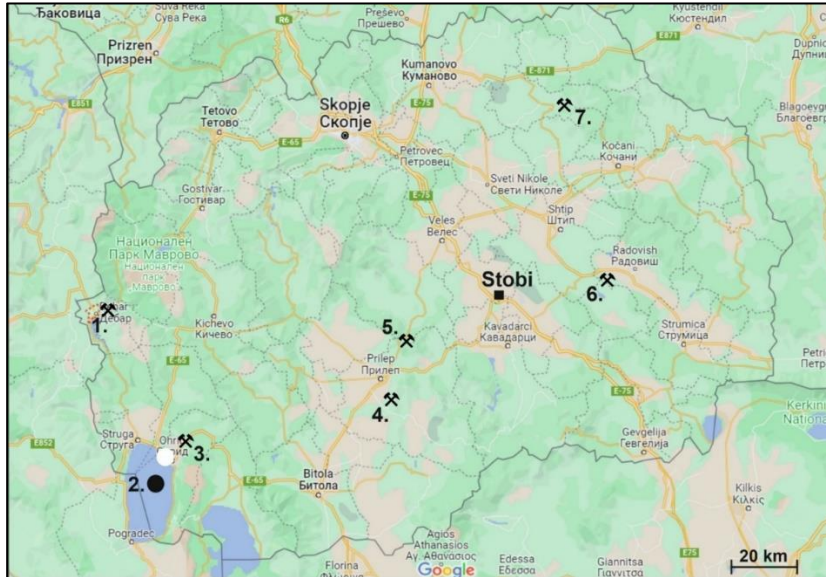
Postkolizijski magmatizam u Sjevernoj Makedoniji rezultirao je nastankom vulkanita čiji sastav varira od bazalnog do trahiandezitnog. Stijene pokazuju visoko-K-kalk-alkalni do šošonitni karakter te su karakterizirane obogaćenjem sa LILE, osiromašenjem sa HFSE i relativno visokim Sr/Y i La/Yb omjerima (Cvetković *i sur.*, 2004; Lehmann *i sur.*, 2013).

Kombinacija povišenog geotermalnog gradijenta i reaktiviranje ekstenzijskih rasjednih zona stvara idealan geološki okoliš za formiranje magmatsko - hidrotermalnih sustava i asociраних mineralnih ležišta (

Slika 4). Mineralna ležišta predstavljena su ***porfirnim Cu-Au tipom mineralizacije*** (npr., Bučim i Borov Dol; Serafimovski *i sur.*, 2010; Strmić Palinkaš *i sur.*, 2022), ***skarnskim tipom mineralizacije*** (npr., Damjan Fe skarnsko ležište, Sasa Pb-Zn-Ag skarnsko ležište, Lehmann *i sur.*, 2013; Strmić Palinkaš *i sur.*, 2018a), ***Carlin tipom mineralizacije*** (npr., Allchar, Strmić Palinkaš *i sur.*, 2018b), ***polimetalnim venskim tipom Pb-Zn mineralizacije*** (npr. Zletovo; Tasev & Serafimovski, 2012) te ***epitermalnim tipom mineralizacije*** (npr., Plavica Au-Cu ležište; Melfos *i sur.*, 2019).



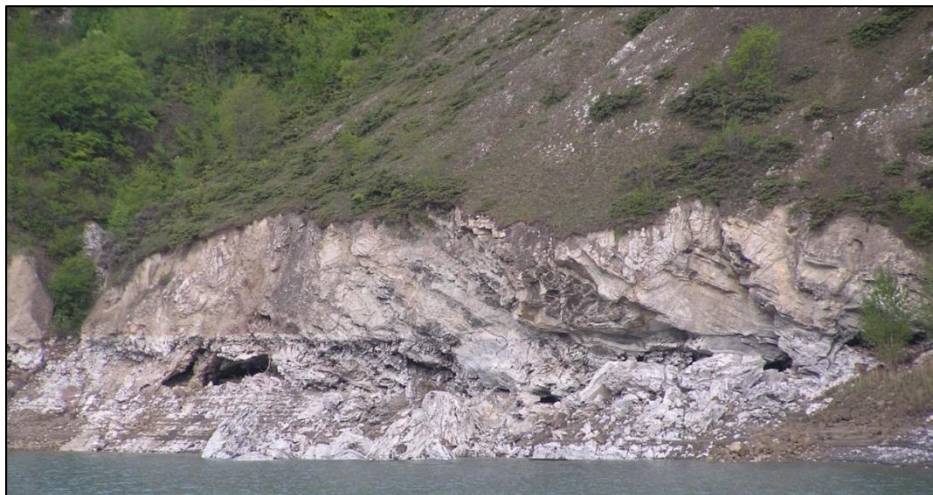
Slika 4. Najvažnija mineralna ležišta nastala pod djelovanjem postkolizijskog magmatizma na Balkanskom poluotoku. 1-Borov Dol; 2- Skouries; 3-Damjan; 4-Trepča; 5-Sasa; 6-Allchar; 7-Zletovo; 8-Crnac; 9-Čumavići; 10-Plavica; 11-Boranja; 12-Rudnik; 13-Belo Brdo; 14-Leče; 15-Badovac 16-Avajllija; 17-Kišnica; 18- Karavansalija; 19-Tulare; 20-Raška (prema Strmić Palinkaš i sur., 2022).



Slika 5. Geografski položaj točaka opisanih u geološkom vodiču; 1) Debar; 2) Ohridsko jezero; 3) Duvalo; 4) Štavica; 5) Sivec; 6) Damjan; 7) Zletovo – Plavica; bijela točka - Ohridski biseri

1. DEBAR

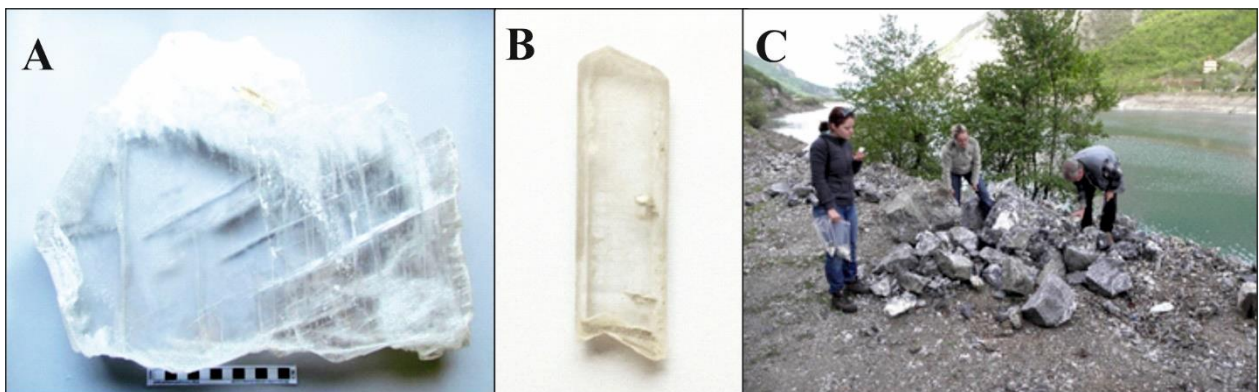
Grad Debar je smješten na obroncima planine Korab. Oko 5 km na istok od Debra nalazi se ležište gipsa duž doline rijeke Radike (Slika 5), dok je ulaz u rudnik neposredno iznad same rijeke. Naslage gipsa (Slika 6) su debljine do 70 m te prekrivaju područje veličine 8*2 km.



Slika 6. Evaporitni slijed naslaga kraj Debra

Izuzetno lijepi kristali gipsa dosežu dimenzije preko 1 m, a nađeni su na obje strane rijeke između sela Gorno Kosovrasti i Dolno Kosovrasti, u potpunosti su prozirni (Slika 7a), ali ih je gotovo nemoguće izdvojiti iz potpuno kristaliziranih špilja te se zato rijetko nalaze kao potpuno slobodni kristali. Manji kristali se mogu naći kao slobodni kristali, a vrlo često čine dodirne sraslace lastinog repa po{100} (Slika 7b). Mineralnu asocijaciju, pokraj velikih kristala gipsa, čine sitnozrnati varijetet gipsa alabaster (Slika 7c), te anhidrit i samородni sumpor (Žorž i sur., 1999; Jovanovski i sur., 2012) koji se lako zapazi i već po karakterističnom mirisu sumpora otopljenog u termalnim vodama.

Ležište gipsa se prema različitim autorima smješta u dvije različite geotektonske jedinice. Jovanovski i sur. (2012) ga ubrajaju u Zapadno Makedonsku tektonsku jedinicu gornjotrijaskih fliševa te je dio tektonske jedinice Debarske zone, dok prema drugim autorima pripada Krasta-Cukali geotektonskoj jedinici (Petrušev i sur., 2012; Spasovski i Spasovski, 2012). Starost evaporita nije sa sigurnošću utvrđena pa tako Aubouine & Ndojaj (1964) smatraju da su trijaski starosti, dok Robertson & Shallo (2000) govore o donjokrednim evaporitima. U literaturi se navodi nekoliko šturih objašnjenja nastanka evaporitnih slojeva gipsa u Debru. Jedno objašnjenje je da je gips nastao kao produkt izmjene vapnenca pod utjecajem hidrotermalnih fluida obogaćenih SO_4^{2-} (Jovanovski i sur., 2012.), dok drugi navode procese matasomatoze u kvarcnim stijenama uložanima u fliš (Žorž i sur., 1999.).



Slika 7. a) fragment potpuno prozirnog gipsa (inv. broj. IX-4-3-037, Mineraloška zbirka MPZ-a, Geološki odsjek, PMF); b) sraslac lastinog repa (4 x 1 x 0,5cm; privatna zbirka); c) gips, varijetet alabaster (Rajčice kraj Debra)

2. OHRIDSKO JEZERO

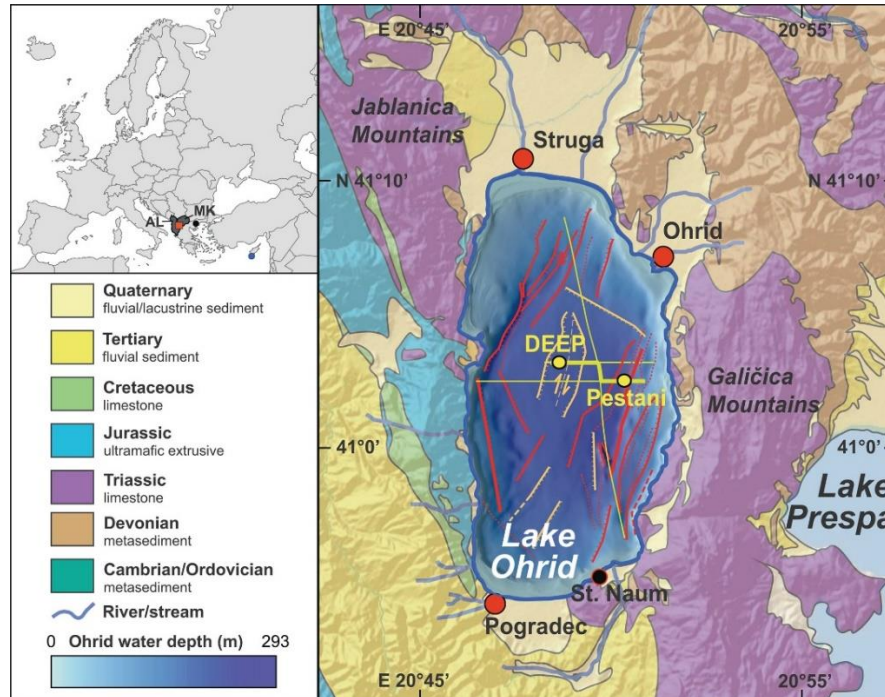
Ohridsko jezero (Slika 8) smješteno je na granici između Sjeverne Makedonije i Albanije, na 693 m nadmorske visine.



Slika 8. Ohridsko jezero – panorama, pogled s Galičice prema Albaniji

Od sjevera prema jugu proteže se ~30 km, a od istoka prema zapadu ~15 km, s maksimalnom dubinom vode od 293 m u središnjem bazenu (Slika 9; Lindhorst i sur., 2015). Najveći udio unosa vode dolazi iz krških vodonosnika (~50%), dok izravne padaline i riječni dotok čine oko 25% (Wagner i sur., 2010). Nalazi se unutar Dinaridsko-Albansko-Helenidskog planinskog pojasa i tektonski je aktivan graben unutar Južnobalkanskog ekstenzijskog režima. Vjerojatno je tektonski formirano tijekom tercijara i smatra se najstarijim jezerom u Europi, starim više od 1,2 milijuna godina. Seizmička istraživanja pokazala su da je ispunjeno sedimentima debljine nekoliko stotina metara (~680 m ispod jezerskog dna) koji sadrže fluvijalne i jezerske sedimente (Lindhorst i sur., 2015).

Ohridsko jezero predstavlja vrijedan zapis za paleookolišna i paleoklimatska istraživanja u sedimentima, koja se temelje na projektima bušenja jezerskih sedimenata u sklopu međunarodnog programa ICDP (*International Continental Scientific Drilling Program*) 2013. godine u okviru programa SCOPSCO (*Scientific Collaboration on Past Speciation Conditions in Lake Ohrid*). Glavni cilj bio je bušenje jezerskih sedimenata na nekoliko lokacija kako bi se odredila starost i geološka evolucija Ohridskog jezera te rekonstruirati promjene okoliša u posljednjih 2 milijuna godina.



Slika 9. Karta Ohridskog jezera i njegovog okolnog područja, s geologijom, topografijom i batimetrijom jezera (Wagner et al., 2023).

Procjenjuje se da je početak sedimentacije u Ohridskom jezeru započelo prije ca. 2 milijuna godina, prema biostratigrafskim i seizmičkim podacima te ekstrapolacijom brzina sedimentacije s lokacije jezgre DEEP iz središnjeg dijela jezera s 243 m dubine, koja sadrži ukupnu debljinu sedimenta od 584 m. Doni dio sedimenta čine krupniji sedimenti koji su se taložili u fluvijalnom okolišu uske doline, koju su mogli biti transportirani u jezero (paleo)rijekom Drim, koja danas istječe iz Ohridskog jezera, a mali pod-bazeni mogli su se formirati uslijed progresivne ekstenzije. Slijede sitnozrnati i močvarni tresetni sedimenti koji ukazuju na promjenjiv i dinamičan okoliš prije 1,4 do 1,364 milijuna godina. Jezero se formiralo prije 1,364 milijuna godina i od tada postoji kontuirano bez prekida, što je dokazano različitim indikatorima. Vrijeme formiranja jezera prije oko 1,36 milijuna odgovara velikoj globalnoj klimatskoj tranziciji i interglacijalnom stadiju MIS 43. Vrijeme formiranja jezera podupiru podaci dijatomeja koji pokazuju da su se na samom početku formiranja jezera miješale skupine dijatomeja s vrstama endemičnim za izvore Drima (Sv. Naum) i neendemskim vrstama koje se pojavljuju u okolnim rijekama. Tijekom formiranja Ohridskog jezera, vrste koje su endemične za Prespansko jezero ili su zajedničke Prespanskom i Ohridskom jezeru,



bile su među prvima koje su se formirale u vodama Ohridskog jezera. Tijekom MIS 45 dolazi do povećanje razine jezera, kao rezultat povećane količine padalina u to vrijeme, vjerojatno u kombinaciji s povećanim unosom podzemne vode u jezero koja potencijalno potječe iz Prespanskog jezera. Od 1,36 do 1,03 milijuna godina glacijalna razdoblja karakterizirana su manjim udjelom fakultativnih planktonskim ili bentičkim dijatomejama koje preferiraju dubinu mode <10 m. Tijekom MIS 41 moguće je da je došlo do toga da je dubina vode prešla prag od 10-20 m, ali dubina vode nije premašila dubinu "zone školjke" od 10-30 m do stadija MIS 37. Tijekom glacijalnih razdoblja, kada je količina padalina bila niža, razina jezera se smanjuje. Seizmički podaci potvrđuju prvu neprekinutu korelaciju lokacija DEEP i Pestani u MIS 36, što ukazuje da se razina vode značajno povećala tijekom tog vremena. Podaci o dijatomejama upućuju na vrlo dinamično okruženje s ukupnim povećanjem, ali fluktuirajućim dubinama vode do ca. 1,03 milijuna godina. Poslije toga dolazi do daljnjeg produblivanja i širenja jezera.

Seizmički reflektor na ~275 m ispod jezera pretpostavlja minimalnu razinu vode od 300 m. Reflektori na granicama MIS 16/15 (~240 m ispod jezera) i MIS13/12 (~190 m ispod jezera) također sugeriraju minimalne dubine vode od 300 m, čime se premašuje današnja dubina vode od 293 m. Minimalna dubina vode smanjena je na 225 m tijekom MIS 9 (~140 m ispod jezera), na 200 m tijekom MIS 7 (~100 m ispod jezera), i na 175 m tijekom MIS 5. U MIS 3 (20 m ispod jezera), minimum dubina vode povećala se na 250 m, vraćajući se na razinu sličnu onoj uočenoj u donjoj polovici zapisa. Podaci sugeriraju opći trend dubljih voda od prije MIS 16 do MIS 13/12, nakon čega slijedi smanjenje dubine vode s minimumom u MIS 5 i naknadno produblivanje do današnje razine jezera.

Tijekom svog postojanja Ohridsko jezero bilo je pod raznim pritiscima, uključujući taloženje tefre (vulkanski fragmenti eksplozivnim vulkanskim erupcijama). Snimljeno je ukupno 57 slojeva tefre na lokaciji DEEP. Geokemijski otisak svih analiziranih slojeva tefre ukazuje na podrijetlo iz talijanskih vulkanskih provincija koje se nalaze između 420-900 km uz vjetar od Ohridskog jezera i bile su stalno aktivne tijekom kvartara.

Sedimenti Ohridskog jezera pokazali su da do ca. 15 m obuhvaća posljednji glacijalni/interglacijalni ciklus i sadrže informacije o dugoročnim i kratkoročnim klimatskim promjenama u području istočnog Mediterana (Francke et al., 2016; Wagner et al., 2019).

3. “VULKAN” DUVALO “

Lokalitet Duvalo (Slika 10) smješten je u neposrednoj blizini sela Kosel, u okolici Ohrida (Slika 11). Lokalitet je karakteriziran intezivnom promjenom tla i vegetacije te površinskim odlaganjem nakupina elementarnog sumpora i sulfata. U periodu od 16. do 19. stoljeća, s godišnjom produkcijom od oko 1700 kg, ovaj lokalitet je predstavljao je važan izvor sumpora. Sumpor je uglavnom služio za proizvodnju baruta u barutanama smještenim u Solunu i Istanbulu.



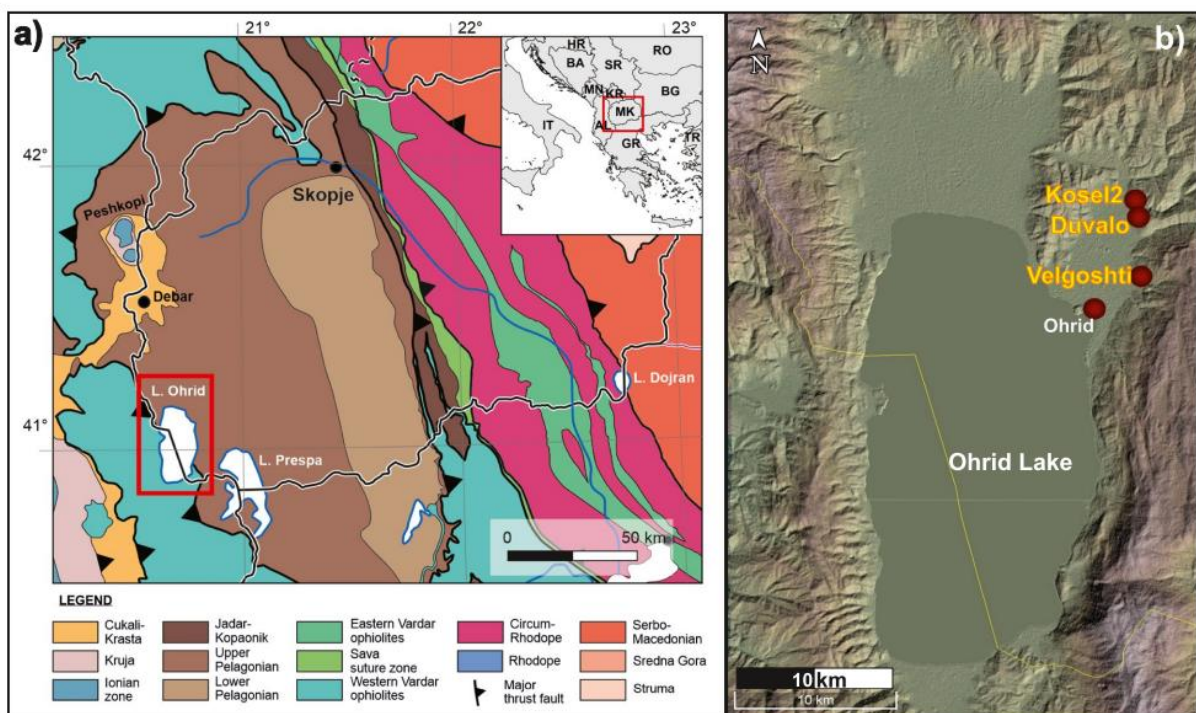
Slika 10. Duvalo kraj Kosela

Uz intezivne površinske promjene na lokalitetu Duvalo, ovo područje je karakterizirano i mirisom „po trulim jajima“ koji ukazuje na isplinjavanje H_2S i pojačanom seizmičkom aktivnošću. Lokalitet je smješten u kvarc-sericitnim škriljavcima koji su ispresjecani rasjedima koji imaju SSZ i SSI pružanja.

Predhodno se smatralo da je lokalitet Duvalo povezan s vulkanskom aktivnošću te se u starijoj geološkoj literaturi opisuje kao vulkanska solfatar (npr., Kotevski, 1987). Ipak, nešto novija

istraživanja ukazuju na nepostojanje vulkanske aktivnosti na lokalitetu Duvalo (Markoski *i sur.*, 2019) te se isplinjavanje povezuje s postojanjem sustava aktivnih rasjeda u kontaktnom području Korab-zapadnomakedonske mase i Mirdita ofiolitne zone na zapadu (Hoffmann *i sur.*, 2010). Oslobođeni plin sastoji se prvenstveno od CO₂ (>90%) sa značajnim primjesama H₂S (do 0.55%) i CH₄ (do 0.32%). Površinske izmjene stijena, tla i vegetacije povezane su s oksidacijom H₂S pod utjecajem kisikom bogatih oborinskih voda te stvaranjem sulfatne kiseline koja, između ostalog, izaziva izmjenu filičnih stijena u kaolinit (Markoski *i sur.*, 2019).

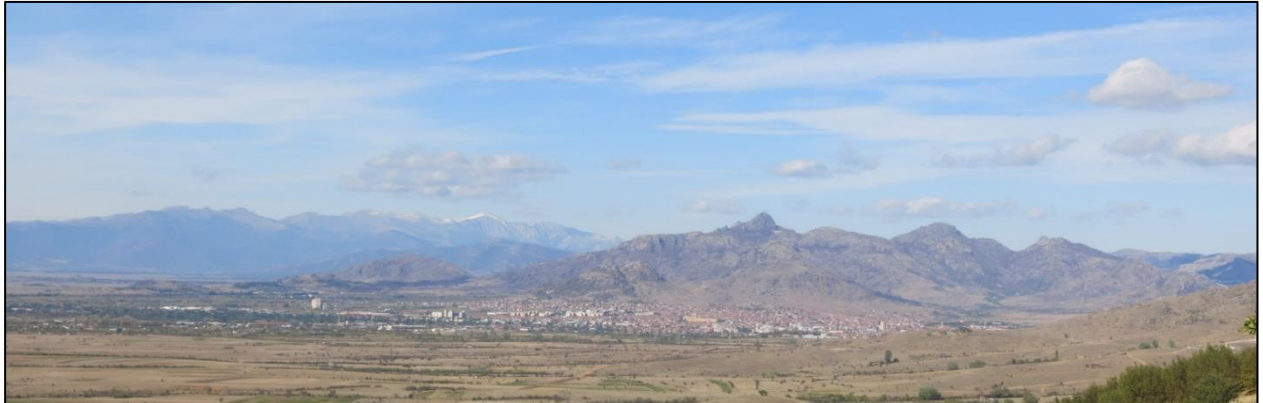
Izotopni sastav He (R/RA 0.10) i CO₂ (d¹³C ~ 0‰) isključuju plašt kao potencijalni izvor CO₂, dok izotopni sastav CH₄ (d¹³C ~ -35‰; dD ~ -170‰) reflektira termogeno porijeklo metana. Li Vigni *i sur.* (2022) zaključuju da Duvalo predstavlja primjer tektonski kontroliranog isplinjavanja iz plićih dijelova kontinentalne kore.



Slika 11. Geološki smještaj lokaliteta Duvalo; a) Područje Ohrida u odnosu na glave geotektonske jedinice u Sjevernoj Makedoniji (prema Schmid *i sur.*, 2020); b) Topografska karta Ohridskog bazena s lokalitetom Duvalo (prema Li Vigni *i sur.*, 2022).

4. ŠTAVICA

Lokalitet Štavica je smješten na obroncima Selečke planine (Slika 5), u neposrednoj blizini Prilepa (Slika 12).



Slika 12. Pogled sa Štavice prema Prilepu

Lokalitet se nalazi u istočnom dijelu Pelagonske mase te je izgrađen od tinjčevih škriljavaca lepidoblastične strukture i škriljave teksture (Slika 13A) s mineralnom asocijacijom koja se sastoji od kianita, granata, staurolita i korunda (Šijakova Ivanova & Robeva Čukovska, 2014).

U neposrednoj blizini su pronađeni kvarciti s plavim kianitom (Slika 13B) smješteni u seriju gnajsa (Barić, 1935). Kristali kianita mogu doseći veličine od 20-ak cm, a u podnožju lokaliteta se nalaze velike količine kristala kianita u aluvijalnim nanosima.



Slika 13. A) tinjčev škriljavac s granatom; B) kianit u kvarcitu, Štavica, Selečka planina

5. SIVEC

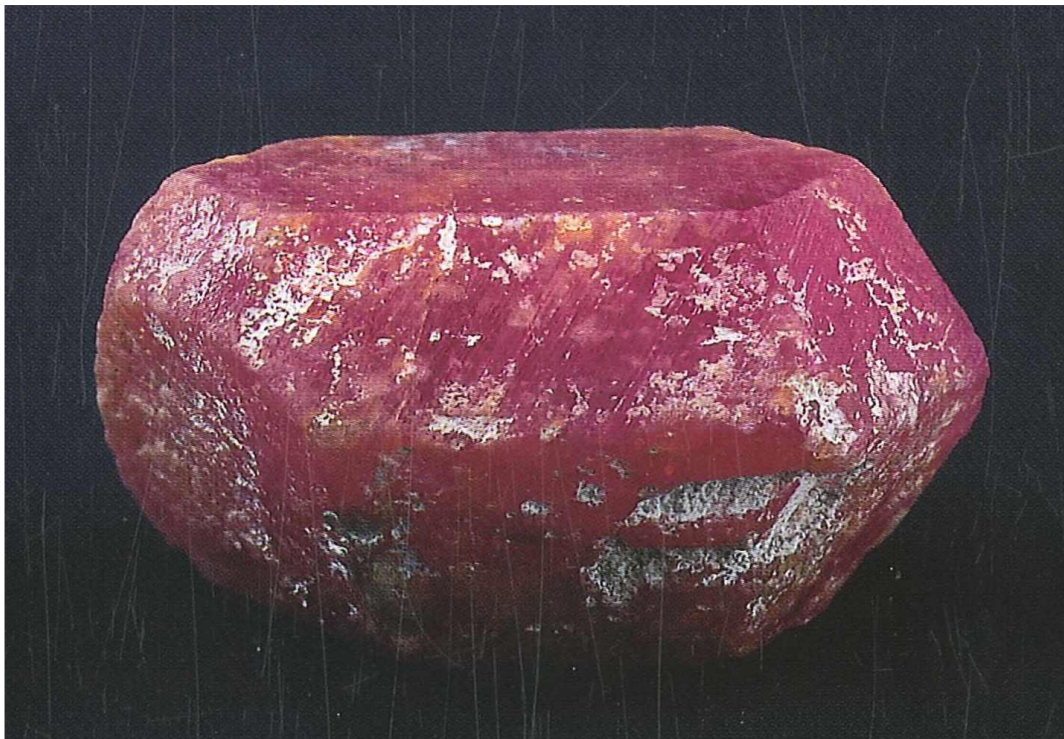
Mramori koji pripadaju mramorima tipa Sivec su dio pretkambrijske Pelagonske serije mramora koja je očuvana u istočnom dijelu Pelagonske mase, te se klasificiraju kao dolomitni i kalcitni mramori (Boev, 2015). Pružanje mramora je smjera NW-SW, dužine 3 do 4 km, te širine 0,5 do 1,5 km. Kamenolom mramora Sivec je smješten u blizini grada Prilepa (Slika 5), te predstavlja rijetku pojavu šećerastog dolomitnog mramora (Slika 14). S obzirom na stupanj metamorfizma i mineraloški sastav, sivečki mramor se smatra metamorfnom stijenom građenom primarno od dolomita, i dijelom kalcita nastalom regionalnom metamorfozom kao posljedicom granitne intruzije pretkambrijske starosti.



Slika 14. Kamenolom Sivec

Sivečki mramor posjeduje iznimna i jedinstvena petrografska i mineraloška obilježja u smislu strukture i mineralne asocijacije koje su posljedica specifične geneze ovog dijela Pelagonskog

metamornog kompleksa. Masivni i sitnozrnati mramor jugozapadne zone je granoblastične strukture sa prijelazom u mozaičnu i mjestično porfiroblastičnu strukturu. Također su utvrđene kataklastična i mjestimično milonitna struktura (Jovanovski i sur., 2012., Boev, 2015). Zrna dolomita, koji čini 95% stijenske mase, su dimenzija 0,1 do 0,5 mm, a u mineralnoj asocijaciji se pojavljuje cijeli niz egzotičnih minerala specifičnih isključivo za sivečki dolomitni mramor: korund, fluorit, kalcit, rutil, flogopit, dijaspor, almandin, klinoklor, muskovit, kvarc, pirit, turmalin i zoisit (Barić, 1969; Jeršek & Mirtič, 1999). Od toga, najznačajnija je pojava ružičastog do ljubičastog korunda (Slika 15) razvijenog u debelo pločastim, uglavnom opâki, te ponekad prozirnim kristalima. Kamenolom Sivec je jedinstven zbog pojave bijelog šećerastog mramora, ali to je ujedno i jedan od tri poznata lokaliteta korunda u Sjevernoj Makedoniji (Jeršek & Mirtič, 1999). Ovakva egzotična mineralna asocijacija, ali i homogenost te intenzitet bjeline mramora je rezultat metamornih procesa uzrokovanih pretkambrijskom granitnom intruzijom.



Slika 15. Debelo pločasti kristal korunda iz dolomitnog mramora u Sivecu kraj Prilepa (cca 4*1,5 cm; preuzeto iz Jeršek i Mirtič, 1999)



Eksploatacija sivečkog mramora ima dugu povijest tijekom koje su mnoga znamenita djela kulture i arhitekture napravljena upravo od njega (djela u Herakleji, Stiberu, Stobiju i drugim arheološkim lokalitetima u Sjevernoj Makedoniji). Organizirana eksploatacija sivečkog mramora je započela nakon Drugog svjetskog rata, a količina eksploatiranih blokova kontinuirano raste te danas doseže oko 25 000 m³.

6. FE-SKARNSKO LEŽIŠTE DAMJAN

Rudno ležište Damjan smješteno je 20 km južno od grada Štipa u centralnom dijelu Sjeverne Makedonije. Ležište pripada rudnom području Bučim-Damjan-Borov Dol smještenom u Lece-Halkidika metalogenetskoj zoni, na granici Srpsko-makedonske mase i Vardarske zone (Slika 16). Eksploatacija je vršena u periodu od 1968.-1992. godine (Serafimovski, 1999).

Glavni rudni minerali su magnetit i hematit koji se javljaju u jednakim omjerima. Rezerve rudnog ležišta procijenjene su na 10 Mt, s prosječnim udjelom željeza od 35%. Magnetit dominira u dubljim dijelovima ležišta te bliže kontaktima s andezitnim tijelima sugerirajući njegov nastanak na višim temperaturama te nižem fugacitetu kisika. Hematit dominira u plićim dijelovima ležišta, ukazujući na pad temperature i/ili porast fugaciteta kisika (Serafimovski, 1982).

Paleogenska flišna sekvenca najrasprostranjenija je litostratigrafska jedinica užeg područja rudnog ležišta Damjan. Započinje facijesom bazalnih konglomerata koji postupno prelazi u facijes flišno-tufoznih sedimenata te završava facijesom vapnenaca. Sekvenca je probijena oligocenskim vulkanskim stijenama, a većim djelom i prekrivena izljevima andezita mlađih faza. Na kontaktima tih proboja formiran je skarn s Fe-mineralizacijom. Najučestaliji facijes flišno-tufoznih sedimenata paleogenske flišne sekvence čine lapori, gline, pješčenjaci, sitnozrnati konglomerati, tufiti, laporovite gline, laporovit vapnenci i vapnenci. Stijene su sive ili zelenkaste boje, a na prijelazu od bazalnih konglomerata crvene. Prisutnost tufita ukazuje na vulkansku aktivnost koja je započela u paleogenu, a veže se uz Kratovsko-Zletovsko vulkansko područje. Vulkanska aktivnost na području Damjana je mlađa, odvijala se nakon taloženja paleogenskih sedimenata. Glinovito-laporoviti sedimenti ovog facijesa nepogodni su za formiranje skarnova, za razliku od vapnenaca. Facijes vapnenaca čine vapnenci, pjeskovitim vapnenci i kalkarenita, čiji prijelaz prema drugim facijesima je postupan. Kao i drugi facijesi ove sekvence i facijes vapnenaca je probijen oligocenskim



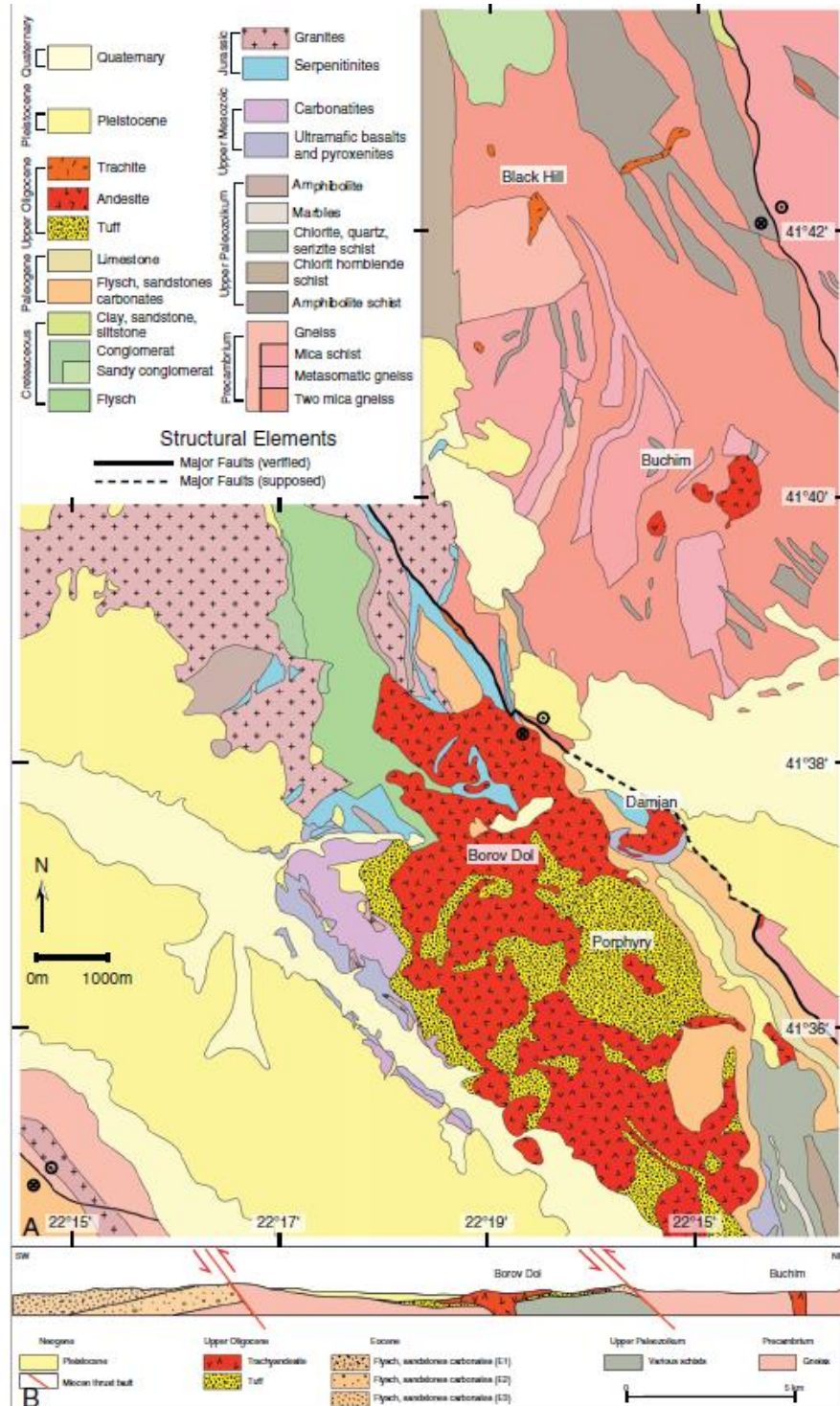
vulkanskim stijenama te je na njihovom kontaktu došlo do formiranja skarna, a u hidrotermalnoj fazi do odlaganja Fe-rude. Za formiranje skarnova također su bitne rasjedne zone duž kojih je omogućena cirkulacija hidrotermalnih fluida (Serafimovski, 1982).

Ultrabaziti na području rudnog ležišta Damjan javljaju se samo na sjevernom dijelu ležišta i to u obliku serpentinske trake. Stijene su nastale serpentinizacijom harzburgita, te su hidrotermalno izmijenjene.

Vulkanska aktivnost na području Damjana je višefazna. Jasno se mogu izdvojiti dva tipa andezita: stariji, krupno-porfirni, alterirani andeziti, koji su odgovorni za rudnu mineralizaciju, te mlađi, postrudni, sitnije porfirni, relativno svježiji andeziti koji probijaju orudnjenu zonu i stariju fazu vulkanita. Veći proboji rudonosnog andezita javljaju se u centralnom djelu rudnog ležišta u obliku dajkova pružanja SSZ-JJI, te kao silovi utisnuti između ravnina slojevitosti u palogenskom flišu. Na kontaktima proboja starijih vulkanita, dajkova i silova s paleogenskom flišnom sekvencom formiran je skarn.

Skarnovi su klasificirani kao kalcijски egzokarnovi, iako se u manjoj mjeri javljaju i endoskarnovi. Skarnovi su trakaste teksture, kao i sama Fe-mineralizacija. Ta teksturna obilježja su posljedica hidrotermalne izmjene primarnih stijena paleogenske flišne sekvence. Progradni skarnski minerali u Damjanu uglavnom nisu sačuvani već su izmijenjeni u smjesu klorita, epidota, karbonata i kvarca, reflektirajući prodor kisikom bogate i hladne meteorske vode u sustav.

Post-rudna faza karakterizirana je odlaganjem minorne količine karbonata i kvarca (Kiš, 2014).



Slika 16. A) Geološka karta područja Bučim–Damjan–Borov Dol; B) Shematski presjek kroz područja Bučim–Damjan–Borov Dol (Hristov i sur., 1973).

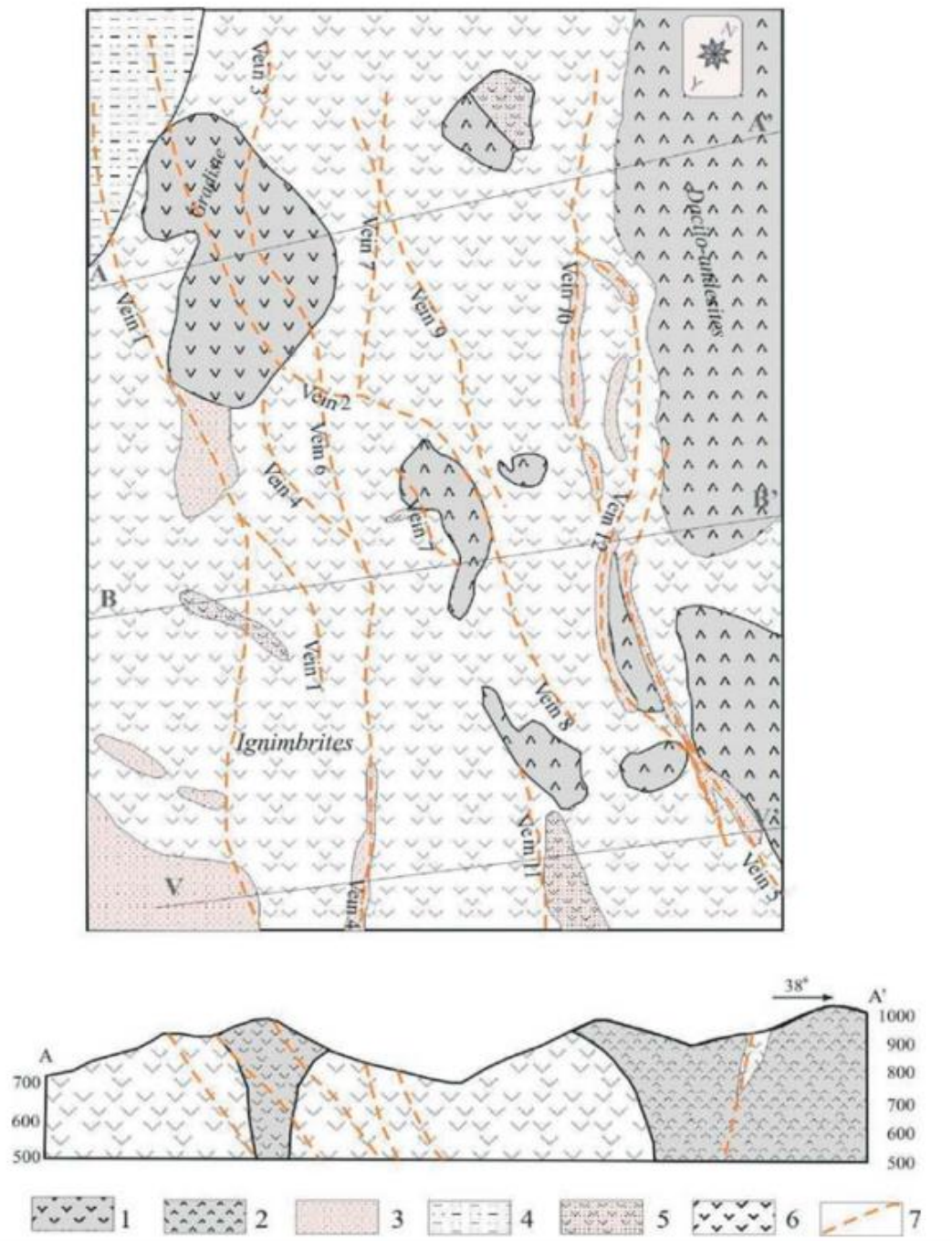


7. ZLETOVO-PLAVICA HIDROTERMALNI SUSTAV

Rudnik olova i cinka Zletovo smješten je u blizini grada Probištipa u središnjem dijelu Sjeverne Makedonije. Mineralizacija se javlja u vidu 16 hidrotermalnih žica s galenitom i sfaleritom kao glavnim rudnim mineralima. Stijene domaćini su hidrotermalno izmijenjeni vulkaniti, uglavnom andezitnog i dacitnog sastava. Glavni tip hidrotermalnih izmijena su kaolinitizacija i silicifikacija. Prosječan sadržaj Pb+Zn iznosi oko 8%. Ruda je obogaćena na brojne elemente u tragovima, uključujući Ag i Au. Rudnik je počeo s radom tijekom Drugog svjetskog rata i od tada je u proizvodnji s nekoliko vrlo kratkih prekida. Godišnja proizvodnja je oko 400.000 tona rude.

Hidrotermalne žice na području Zletova imaju pad između 40 i 90°, debljina im varira od nekoliko cm do preko 2 m, a pružaju se u dužini do 1 km, s iznimkom žice br. 10, koja je preko 10 km duga (Slika 17). Upravo žica br. 10 pruža jedinstveni uvid u evoluciju hidrotermalnih fluida iz dubokog dijela sustava s predominacijom Pb i Zn (rudnik Zletovo) u površinski (epitermalni) sustav s predominacijom Cu i Au (lokalitet Plavica).

Lokalitet Plavica predstavlja visokosulfidni tip Cu-Au mineralizacije praćen s tipičnim kiselim hidrotermalnim alteracijama koje uključuju silicifikaciju, kaolinitizaciju te precipitaciju alunita.



Slika 17. Geološka karta područja Zletova te model vertikalnog prijesjeka kroz mineralizirano područje. 1- hidrotermalno izmijenjeni andezit; 2-hidrotermalno izmijenjeni dacit; 3-1-hidrotermalno izmijenjeni ignimbrit; 4-Tuf; 5-hidrotermalno izmijenjeni andeziti i daciti; 6-ignimbriti; 7-rudne žice.

OHRIDSKI BISERI

Povijest ohridskih bisera datira iz 1924. godina kada je ruski migrant, inače dvorjanin na dvoru Romanovih, bježeći pred revolucijom došao u Ohrid i pokazao tehniku pravljenja bisera samo članovima dviju obitelji - Filev i Talev. Tajna tehnika se kroz generacije prenosila samo usmenim putem (jer kad se zapiše, više nije tajna!), i to s oca na sina.

Ohridski biseri (Slika 18) prave se na način da se uzme najsjajniji (unutrašnji) dio školjke – sedef (*eng.* mother-of-pearl), te se obradi u željeni oblik. Drugi korak u izradi bisera je premazivanje sedefastog zrna tajnom emulzijom dobivenom od ljuski ribe plašice, a nanosi se između sedam i osam slojeva emulzije, dajući im poseban sjaj. Svaki sloj se mora osušiti prije nanošenja sljedećeg, što traje minimalno 45 minuta do sat vremena. Ostali sastojci emulzije, osim ljuski riba, su tajna koja se čuva generacijama.

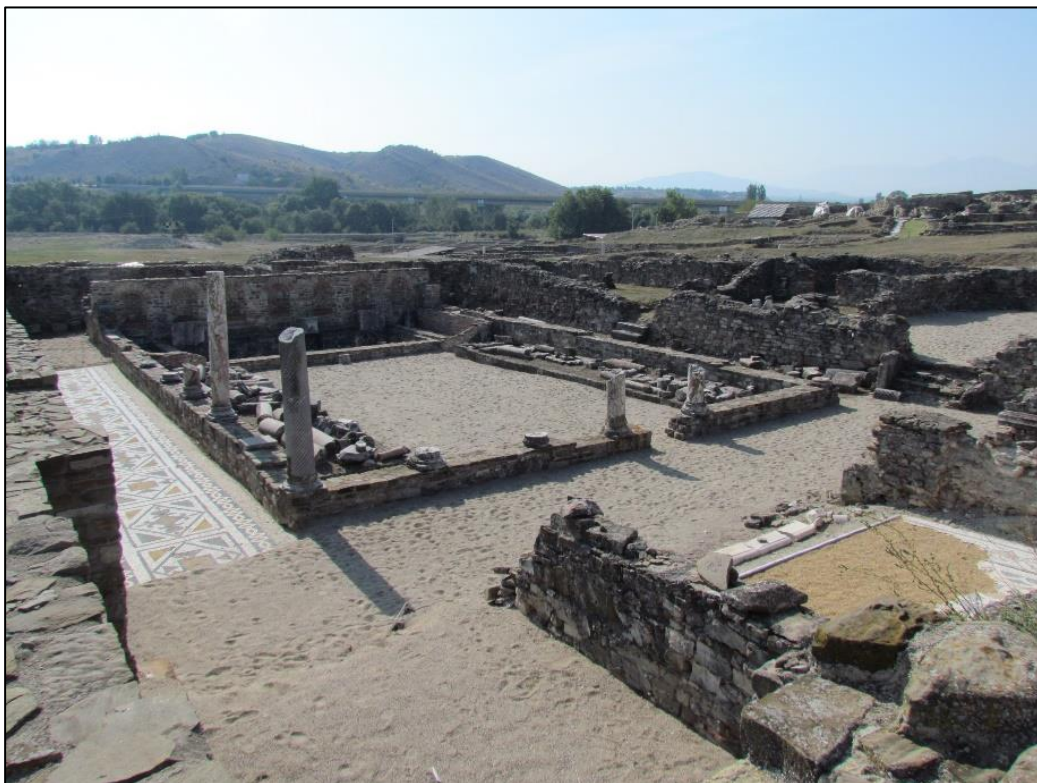
[Na mrežnim stranicama BBC-a](#) [1] pogledajte priču o zanimljivom blagu s najstarijeg jezera u Europi.



Slika 18. Ohridski biser na srebrnom privjesku (izvor [2])

ARHEOLOŠKO NALAZIŠTE STOBI

Stobi (Slika 19) je antički grad smješten u središnjoj Makedoniji, u blizini Gradskog, na ušću Crne reke (Erigon) u Vardar (Axios) (Slika 5). Nalazio se na nekadašnjem glavnom putu između Dunava i Egejskog mora, odnosno putu koji je duž Vardara povezivao glavne trgovačke puteve *Via Egnatia* i *Via Militaris/Via Axis/Via Diagonalis* što ga je činilo strateškim važnim za trgovinu i ratovanje, a također je bio povezan s još jednim antičkim gradom, Heraklea Linkestis u blizini današnje Bitole. Arheološko nalazište Stobi ima površinu od 1600 m². Povijesna i kulturna riznica Stobija je izuzetno bogata – tu se mogu naći antičko kazalište iz 2. stoljeća, vile, kršćanska bazilika, izuzetno očuvani ostatci mozaika, četverolisna krstionica, terme...



Slika 19. Antički grad Stobi, Sjeverna Makedonija

Bio je najveći rimski grad u Makedoniji, a kasnije glavni grad provincije Macedonia Secunda, te urbani, vojni, trgovački, administrativni i religiozni centar regije pod upravom Rimskog carstva.

Episkopska bazilika vladike Filipa iz 5. stoljeća potvrđuje značaj ovog grada kao religioznog centra. To je najznačajnija kršćanska građevina u Stobiju čija je unutrašnjoj bila ukrašena bijelim mramorom i mozaicima na podovima. Južno od bazilike se nalazi krstionica s četverolistom u sredini koje se bilo prekriveno kupolom, dok je pod ukrašen mozaicima paunova i jelena (Slika 20). Pod nazivom Stobi grad se po prvi put spominje u 2. stoljeću pr. Krista, ali se smatra da je bio naseljen barem 400 godina ranije. Vrhunac je doživio u periodu od 3. do 4. stoljeća poslije Krista kad ga razaraju Huni. Početkom 6. stoljeća ga razara snažni zemljotres. Istraživanja i obnova na arheološkom nalazištu Stobi su stalno u tijeku, a detalji se mogu pročitati na službenim mrežnim stranicama [3].



Slika 20. Krstionica u Stobiju s četverolistom ukrašena mozaicima paunova i jelenova



Literatura:

- Antić, M., Peytcheva, I., von Quadt, A., Kounov, A., Trivić, B., Serafimovski, T., Tasev, G., Gerdjikov, I., & Wetzel, A., (2016). Pre-Alpine evolution of a segment of the North-Gondwanan margin: Geochronological and geochemical evidence from the central Serbo-Macedonian Massif. *Gondwana Research*, 36, 523–544.
- Aubouin, J., & Ndojaj, I. (1964). Regard sur la géologie de l'Albanie et sa place dans la géologie des Dinarides. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7(5), 593-625.
- Barić, LJ. (1935): Disthen (Cyanit) von Prilepec im Selečka-Gebirge. *Zeitschrift für Kristallographie*, 93, 57-92.
- Barić, LJ. (1969): Mineralogische Entdeckungen die am Materialaue Fundorften in Mazedonien Bisher Gemacht Worden Sind. *Geological Survey of Macedonia, Book of Papers*, 14, 55–66
- Boev, B. (2015): Sivec type of marble (mineralogical, whiteness and physico-mechanical features), *Geologica Macedonica*, **29**, 167-176
- Borojević Šoštarić, S., Palinkaš, A. L., Neubauer, F., Cvetković, V., Bernroider, M., & Genser, J. (2014). The origin and age of the metamorphic sole from the Rogozna Mts., Western Vardar Belt: New evidence for the one-ocean model for the Balkan ophiolites. *Lithos*, 192, 39-55.
- Cvetković, V., Prelević, D., Downes, H., Jovanović, M., Vaselli, O., & Pécskay, Z. (2004). Origin and geodynamic significance of Tertiary postcollisional basaltic magmatism in Serbia (central Balkan Peninsula). *Lithos*, 73(3-4), 161-186.
- Dumurdzanov, N. (1985). Petrogenetic characteristics of the high metamorphic and magmatic rocks of the Central and Western part of the Selečka Mts. (Pelagonian massif), SR Macedonia, Yugoslavia. *Geologica Macedonica*, 2(1), 173–220.
- Francke, A., Wagner, B., Just, J., Leicher, N., Gromig, R., Baumgarten, H., Vogel, H., Lacey, J. H., Sadori, L., Wonik, T., Leng, M. J., Zanchetta, G., Sulpizio, R. & Giaccio, B. (2016). Sedimentological processes and environmental variability at Lake Ohrid (Macedonia, Albania) between 640 ka and modern days. *Biogeosciences* 13, 1179– 1196.
- Hoffmann, N., Reicherter, K., Fernández-Steeger, T., & Grützner, C. (2010). Evolution of ancient Lake Ohrid: A tectonic perspective. *Biogeosciences*, 7, 3377–3386.



- Jeršek, M. & Mirtič, B. (1999): Corundum from Prilep Dolomitic Marble (Macedonia), Scopolia. 41, 1–22
- Jovanovski, G., Boev, B. & Makreski, P. (2012): Minerals from the Republic of Macedonia with an Introduction to Mineralogy. Macedonian Academy of Sciences and Arts, Skopje, 664 str.
- Karamata, S. (2006). The geological development of the Balkan Peninsula related to the approach, collision and compression of Gondwanan and Eurasian units. Geological Society Special Publication, 260, 155–178.
- Kiš, M. (2015). Geokemijske karakteristike Fe-skarnskog ležišta Damjan, Republika Makedonija. Diplomski rad, Sveučiliste u Zagrebu, 47 p.
- Kotevski, G. (1987). Hidrogeologija na mineralnite, termalnite i termomineralnite vodi na teritorijata na Socijalistichka Republika Makedonija (Hydrogeology of the mineral, thermal and thermomineral waters in the territory of the Socialist Republic of Macedonia) (p. 352). Samupravna prakтика. (in Macedonian)
- Lehmann, S., Barcikowski, J., Von Quadt, A., Gallhofer, D., Peytcheva, I., Heinrich, C.A., & Serafimovski, T., (2013): Geochronology, geochemistry and isotope tracing of the Oligocene magmatism of the Buchim-Damjan-Borov Dol ore district: Implications for timing, duration and source of the magmatism. Lithos, 180–181, 216–233.
- Li Vigni, L., Cardellini, C., Temovski, M., Ionescu, A., Palcsu, L., Gagliano, A. L., Cappuzzo, S. & D'Alessandro, W. (2022). Duvalo “Volcano”(North Macedonia): A Purely Tectonic-Related CO₂ Degassing System. Geochemistry Geophysics Geosystems, 23, e2021GC010198. <https://doi.org/10.1029/2021GC010198>
- Lindhorst, K., Krastel, S., Reicherter, K., Stipp, M., Wagner, B. and Schwenk, T. (2015). Sedimentary and tectonic evolution of Lake Ohrid (Macedonia/Albania). Basin Res, 27: 84-101. <https://doi.org/10.1111/bre.12063>
- Markoski, B., Jovanovski, M., & Peshevski, I. (2019). Duvalo – Dry mofette, Kosel, Ohrid. Geomap doo, Skopje. (in Macedonian with extended summary in English)
- Melfos, V., Voudouris, P., Serafimovski, T., & Tasev, G. (2019). Fluid Inclusions at the Plavica Au-Ag-Cu Telescoped Porphyry–Epithermal System, Former Yugoslavian Republic of Macedonia (FYROM). Geosciences, 9(2), 88.
-



- Most, T. (2003). Geodynamic evolution of the Eastern Pelagonian zone in Northwestern Greece and the Republic of Macedonia.– Unpubl. PhD Thesis, University of Tuebingen, Tuebingen, 195 p
- Petrušev, E., Stolić, N., Šajn, R., & Stafilov, T. (2021). Geological characteristics of the Republic of North Macedonia. *Geologica Macedonica*, 35(1), 49-58.
- Robertson, A., & Shallo, M. (2000). Mesozoic–Tertiary tectonic evolution of Albania in its regional Eastern Mediterranean context. *Tectonophysics*, 316(3-4), 197-254.
- Robertson, A.H.F., Trivić, B., Derić, N., & Bucur, I.I. (2013). Tectonic development of the Vardar ocean and its margins: Evidence from the Republic of Macedonia and Greek Macedonia. *Tectonophysics*, 595–596, 25–54.
- Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kounov, A., Maženco, L., Nievergelt, P., Oberhänsli, R., Pleuger, J., Schefer, S., Schuster, R., Tomljenović, B., Ustaszewski, K., & van Hinsbergen, D.J.J. (2020). Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey. *Gondwana Research*, 78, 308–374.
- Serafimovski, T. (1982): Metalogenetske karakteristike Fe-ležišta Damjan. Magistarski rad. Sveučilište „Goce Delčev“, Štip, 79 p.
- Serafimovski, T. (1999): The Lece-Chalkidiki metallogenic zone: geotectonic setting and metallogenic features. *Geologija* 42, 159-164, Ljubljana.
- Serafimovski, T., Stefanova, V., & Volkov, A. (2010). Dwarf copper-gold porphyry deposits of the Buchim-Damjan-Borov Dol ore district, Republic of Macedonia (FYROM). *Geologiyu Rudnykh Mestorozhdenii*, 52(3), 203-220.
- Strmić Palinkaš, S., Peltekovski, Z., Tasev, G., Serafimovski, T., Šmajgl, D., Rajič, K., Spangenberg, J.E., Neufeld, K., & Palinkaš, L. (2018a). The role of magmatic and hydrothermal fluids in the formation of the sasa pb-zn-ag skarn deposit, Republic of Macedonia. *Geosciences*, 8(12), 444.
- Strmić Palinkaš, S., Hofstra, A.H., Percival, T.J., Borojević Šoštarić, S., Palinkaš, L., Bermanec, V., Pecskey, Z., Boev, B., & Muntean, J.L. (2018b). Comparison of the Allchar Au-As-Sb-Tl Deposit, Republic of Macedonia, with Carlin-Type Gold Deposits. In: Muntean, J.L., Ed. *Reviews in Economic Geology - Diversity in Carlin-Style Gold Deposits*. Society of Economic Geologists. Vol. 20. 10.5382/rev.20.10.
-



- Strmić Palinkaš, S., Perković, I., Čobić, A., Jurković, I., Tasev, G., Serafimovski, T., & Spangenberg, J. E. (2022). Evolution of ore-forming fluids in a post-collisional porphyry Cu-Au system: A case study from the Bučim deposit, Republic of North Macedonia. *Ore Geology Reviews*, 146, 104913.
- Sudar, M., & Kovacs, S. (2006). Metamorphosed and ductilely deformed conodonts from Triassic limestones situated beneath ophiolite complexes: Kopaonik Mountain (Serbia) and Bukk Mountains (NE Hungary)-a preliminary comparison. *Geologica Carpathica*, 57(3), 157.
- Šijakova Ivanova, T. & Robeva Čukovska, L. (2014): Mineralogical characteristics of kyanite from Prilepec, Republic of Macedonia. *Geologica Macedonica*, 28, 115 - 120
- Tasev, G., & Serafimovski, T. (2012). Fluid inclusions study in the quartz from the Zletovo Mine. *Geologica Macedonica, Special Issue № 3*, 2(1), 83-90.
- Wagner, B., Vogel, H., Zanchetta, G., and Sulpizio, R.(2010): Environmental change within the Balkan region during the past ca. 50 ka recorded in the sediments from lakes Prespa and Ohrid, *Biogeosciences*, 7, 3187–3198, <https://doi.org/10.5194/bg-7-3187-2010>.
- Wagner, B. and 47 others (2019). Mediterranean winter rainfall in phase with African monsoon during past 1.36 million years. *Nature* 573, 256– 260.
- Wagner, B., Tauber, P., Francke, A., Leicher, N., Binnie, S.A., Cvetkoska, A., Jovanovska, E., Just, J., Lacey, J.H., Levkov, Z., Lindhorst, K., Kouli, K., Krastel, S., Panagiotopoulos, K., Ulfers, A., Zaova, D., Donders, T.H., Grazhdani, A., Koutsodendris, A., Leng, M.J., Sadori, L., Scheinert, M., Vogel, H., Wonik, T., Zanchetta, G. and Wilke, T. (2023). The geodynamic and limnological evolution of Balkan Lake Ohrid, possibly the oldest extant lake in Europe. *Boreas*, 52: 1-26. <https://doi.org/10.1111/bor.12601>
- Žorž, M., Jeršek, M., Mladenovski, G. (1999): *Skrita bogatstva Makedonije*. Scopolia, Supplementum 2. 1-72

Mrežni izvori:

- [1] <https://www.bbc.com/travel/article/20200123-north-macedonias-top-secret-pearls>, 12.05. 2023.
- [2] <https://talevi.mk/products/Pendant-OBP5-p256734721>, 12.05. 2023.
- [3] <http://www.stobi.mk/Templates/Pages/StandardPage.aspx?page=187>, 12.05. 2023.