

Litološke značilnosti terciarnih plasti na Kozjanskem

Lithology of Tertiary beds in Kozjansko, Eastern Slovenia

Bogoljub ANIČIČ, Bojan OGORELEC, Polona KRALJ & Miha MIŠIČ

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

Ključne besede: klastiti, predornine in vulkanoklastiti, karbonatne kamnine, oligocen, miocen, petrologija, Kozjansko, Slovenija

Key words: clastites, volcanic and volcanoclastic rocks, carbonate rocks, Oligocene, Miocene, petrology, Kozjansko area, Slovenia

Kratka vsebina

Oligocenske in miocenske plasti na Kozjanskem, kot delu Paratetide, so razvite v razponu od kiscellija do panonija, z dvema hiatusoma, ki obsegata prvi otnangijsko in karpatijsko stopnjo ter del badenija, drugi pa krajše obdobje med badenijem in sarmatijem. V kiscelliju so se odlagale psevdosoteške plasti, ki so razvite kot bazalni konglomerat, peščenjak, glina, lapor in premog, tem pa sledi laporna glina (sivica). Klastično sedimentacijo spremlja vulkanizem z andeziti in daciti ter njihovimi in riolitnimi tufi. Egerijska stopnja je zastopana s peski, peščenjaki, meljevci, glinavci, laporji in tufi (govške plasti), za eggenburgij pa so značilne plasti kremenovega in glavkonitnega peščenjaka (maceljski peščenjak), peska, konglomerata ter poredko tufa. Najbolj pestro so na Kozjanskem razvite plasti badenijske starosti, znane kot laške plasti. Zanje so razen laporjev in meljevcev značilni masivi litotamniškega apnenca ter plasti biokalkarenita in kalcirudita z morsko favno. Poredko so zastopani tudi tufi, ki so bili v teh plasteh novo odkriti. V sarmatiju je morsko okolje sedimentacije zamenjalo brakično in sladkovodno. Transgresijsko odloženim konglomeratom sledijo peski, laporji in peščenjaki ter redke plasti lapornatih apnencev. Klastični sedimenti nastopajo tudi v panoniju.

Abstract

Oligocene and Miocene beds in Kozjansko, SW part of the Parathetys region, were developed in the time span ranging from Kiscellian to Pannonian, with two emersion phases – the first in Otnangian, Karpatian and partially Badenian, and the second in Badenian and Sarmatian. Kiscellian sedimentation started with basal conglomerate, which was followed by sand, marl with coal seams, and marly clay (sivica). Clastic sedimentation was accompanied by volcanic activity that produced andesites, dacites, and andesitic, dacitic and rhyolitic tuffs. Egerian deposits include sands, sandstones, siltstones, claystones, marls and tuffs (the Govce beds). Eggenburgian deposits are characterised by quartztoze and glauconitic sandstones (the Macelj sandstones) and conglomerates. Badenian deposits are among the most widespread in occurrence and the most diverse in development. They are known as the Laško beds. Marls and siltstones predominate over massive lithothamnian limestone, calcareous-quartztoze conglomerate and biocalcarenite. They contain marine fauna. Badenian tuffs have been newly discovered on the territory of Kozjansko. In Sarmatian, the environment changed from marine to brackish and freshwater. Transgressively deposited conglomerate is overlain by sand, marl, sandstone and scarce beds of marly limestone. Clastic sedimentation continued in the Pannonian time, too.

Uvod

Širše območje Kozjanskega je vzbudilo zanimanje geologov že sredi 19. stoletja. Privabila so jih nahajališča premoga pri Laškem, Senovem, Trobnem dolu, Babni gori in Rogaški Slatini, železova ruda na Rudnici in Bohorju, svinec in cink na Bohorju, predvsem pa mineralni izviri pri Rogaški Slatini ter termalni vreli v okolici Laškega in Rimskih Toplic, kasneje pa še pri Podčetrtku. Zaradi ekonomske pomembnosti so bila nekatera območja podrobneje raziskana tudi še v zadnjih desetletjih.

Kozjansko je pokrajina med Bočem na severu in Bohorjem na jugu, na zahodu je omejeno s spodnjim tokom Savinje in Save, na vzhodu pa s Sotlo. Geografsko je Ilešič (1984) Kozjansko razdelil na dva dela – severni del ali Voglajnsko-Zgornje Sotelsko, ki obsega pokrajino med vzhodnim zaledjem Celjske kotline, Rogatcem in porečjem Sotle ter na južni del – »pravo Kozjansko« ali Srednje Sotelsko, ki se vleče od Laškega preko

Dobjega in Planine proti Kozjemu, po katerem je pokrajina dobila ime. Geomorfološko je Kozjansko zelo razgibano gričevje, v katerem trše peščene in apnenčeve plasti izstopajo kot grebeni, mehkejši laporji, meljevci in peski pa so v dolinah in grapah (sl. 1).

Osnovni namen te študije je, kot pove že naslov članka, da podrobneje predstavimo petrografske in sedimentološke rezultate. Te smo zbrali tako s terenskim delom, predvsem pa z laboratorijskimi analizami več kot 320 terenskih vzorcev in jeder vrtin, ki smo jih raziskovali zadnjih deset let v okviru projekta nove Geološke karte Kozjanskega v merilu 1:50.000 ter projekta Petrološke in sedimentološke raziskave kaminin Slovenije. Litostatigrafske enote so povzete po Osnovni geološki karti 1:100.000, listov Celje (Buser 1978, 1979) in Rogatec (Aničić & Juriša, 1985a,b) ter po Rijavčevi (1965, 1984), ki je neogenske plasti Kozjanskega intenzivno biostratigrafsko raziskovala za svojo doktorsko disertacijo. Nekaj pomislekov je bilo le z uskladitvijo prikazanih enot s stratigrafsko



Sl. 1. Kozjansko s svojo značilno pokrajino. Pogled z Bohorja proti severu. V ospredju vas Zagorje pri Lesičnem, sledi greben Rudnice, na obzorju pa Boč (levo) ter Donačka gora in Macelj (desno).

Fig. 1. Typical landscape of Kozjansko. The view from Bohor towards the North. The village of Zagorje at Lesično is in the foreground, following is the ridge of Rudnica, and Mt. Boč (left) and Mt. Donačka and Mt. Macelj (right) on the horizon.

razpredelnico, ki velja za Centralno Paratetido, kamor se tudi umešča raziskano ozemlje (Rögl 1996, 1998). Na obeh osnovnih geoloških kartah oz. listih Celje in Rogatec so namreč te prikazane še po razdelitvi, ki velja za Mediteran. V fazi njihove izdelave je bil to namreč enotni predpis za celotni jugoslovanski prostor. Gre le za rupelijsko stopnjo, ki so jo zaradi značilnega razvoja pri Kiscelliju, nedaleč od Budimpešte, prvotno poimenovali kiscellijska formacija, nato pa kiscellijska stopnja, kot spodnji del oligocena v razvoju Paratetide (Báldi & Báldi-Beke 1985, Báldi 1986).

Nove ugotovitve bodo koristne pri študiju geneze in paleogeografije predstavljenega dela Panonskega bazena, predvsem za primerjavo neogenskih plasti sosednjega Hrvaškega Zagorja, Krškega bazena, Slovenskih Goric, Štajerskega (Graškega) bazena v Avstriji ter razvojev na Madžarskem.

V okviru študije smo mikroskopsko preiskali preko 90 vzorcev peščenjakov in konglomeratov, okrog 100 vzorcev tufov in vulkanskih kamnin, 85 vzorcev apnencev, 45 vzorcev laporjev, karbonatnih meljevcev in tufov smo raziskali z rentgensko metodo, nekaj vzorcev pa smo raziskali tudi geoemično. Terenske raziskave so delo B. Aničića, peščenjake, predornine in njihove tufe je mikroskopsko raziskala P. Kraljeva, karbonatne kamnine B. Ogorelec, rentgenske analize pa so delo M. Mišića. Vse terenske fotografije, razen 13 in 15 je napravil B. Aničić, mikroskopske pa B. Ogorelec in P. Kralj.

Dosedanje raziskave

Geološke raziskave Kozjanskega lahko v grobem razdelimo na štiri obdobja.

V prvo obdobje, ki zajema čas od 1840 do 1. svetovne vojne, moramo omeniti predvsem Lipoldovo manuskriptno karto okolice Krškega in Brežic iz leta 1858, razpravi Zollikoferja (1861) in Stura (1871) o geologiji Spodnje Štajerske ter geološke karte Pragersko-Slovenska Bistrica (Teller & Dreger, 1898), Celje-Radeče (Teller, 1907) in Rogatec-Kozje (Dreger, 1907, 1920) v merilu 1:75.000. Pomembna dela so tudi Bittnerjeva (1884) študija o razvoju terciarnih plasti v Laški sinklinali, Ungerjeve (1851) paleontološke raziskave pri Soc-

ki ter regionalne raziskave (Rolle 1857; Hoernes 1883, 1888, 1889; Gorjanović-Kramberger 1904).

Med prvo in drugo svetovno vojno je bilo malo raziskav. Omenjamo le Heritscha (1914), Winklerja (1930) in Mundo (1939, 1940), ki so se ukvarjali predvsem s tektoniko, premogom in mineralnimi vodami.

Tudi po 2. svetovni vojni so bile geološke raziskave na Kozjanskem sprva usmerjene na nahajališča premogov (Hamrla 1955, 1958) in vode (Nosan 1960, 1963, 1973, 1975), kasneje pa v regionalne raziskave (Pleničar & Nosan 1958, Grad 1962, 1967, Rijavec 1965, Ramovš 1959, Faninger 1966). Posebej pomembne so bile sistematske regionalno-geološke raziskave za OGK I v merilu 1:100.000, ki so jih izvajali raziskovalci Geološkega zavoda Ljubljane med leti 1962 in 1985. Prostor Kozjanskega je zajet na dveh listih – Celje (Buser 1978, 1979) in Rogatec (Aničić & Juriša 1985a,b), ki ju dopolnjujeta tolmača.

Po letu 1986 so se pričele regionalne raziskave v okviru nove geološke karte v merilu 1:50.000. Te je na ozemlju Kozjanskega vodil B. Aničić in so praktično zaključene. V pripravi za tisk je karta (Aničić & Dozet, 2002 v tisku), ki jo spremlja tolmač (Aničić et al., 2002, v pripravi za tisk) z vso dosedaj zbrano geološko bibliografijo kozjanskega prostora. V zadnjem obdobju je bilo s tega in sosednjih območij objavljenih tudi več člankov z regionalno-geološko, stratigrafsko, sedimentološko in petrografske tematiko (Paunović et al. 1986; Dozet & Rijavec 1994; Aničić & Ogorelec 1994/95; Sachsenhofer 1992; Jelen et al. 1992; Odin et al. 1994; Petrica et al. 1995; Ramovš & Aničić 1995; Žnidarčič & Aničić 1995; Rijavec & Dozet 1996; Dozet et al. 1996, 1999; Aničić & Ramovš 1997, 1998; Pavšič & Aničić 1998, 1999; Fodor et al. 1998; Kralj 1999; Aničić et al. 2000; Jelen et al. 2001; Sachsenhofer et al. 2001).

Geološka zgradba ozemlja

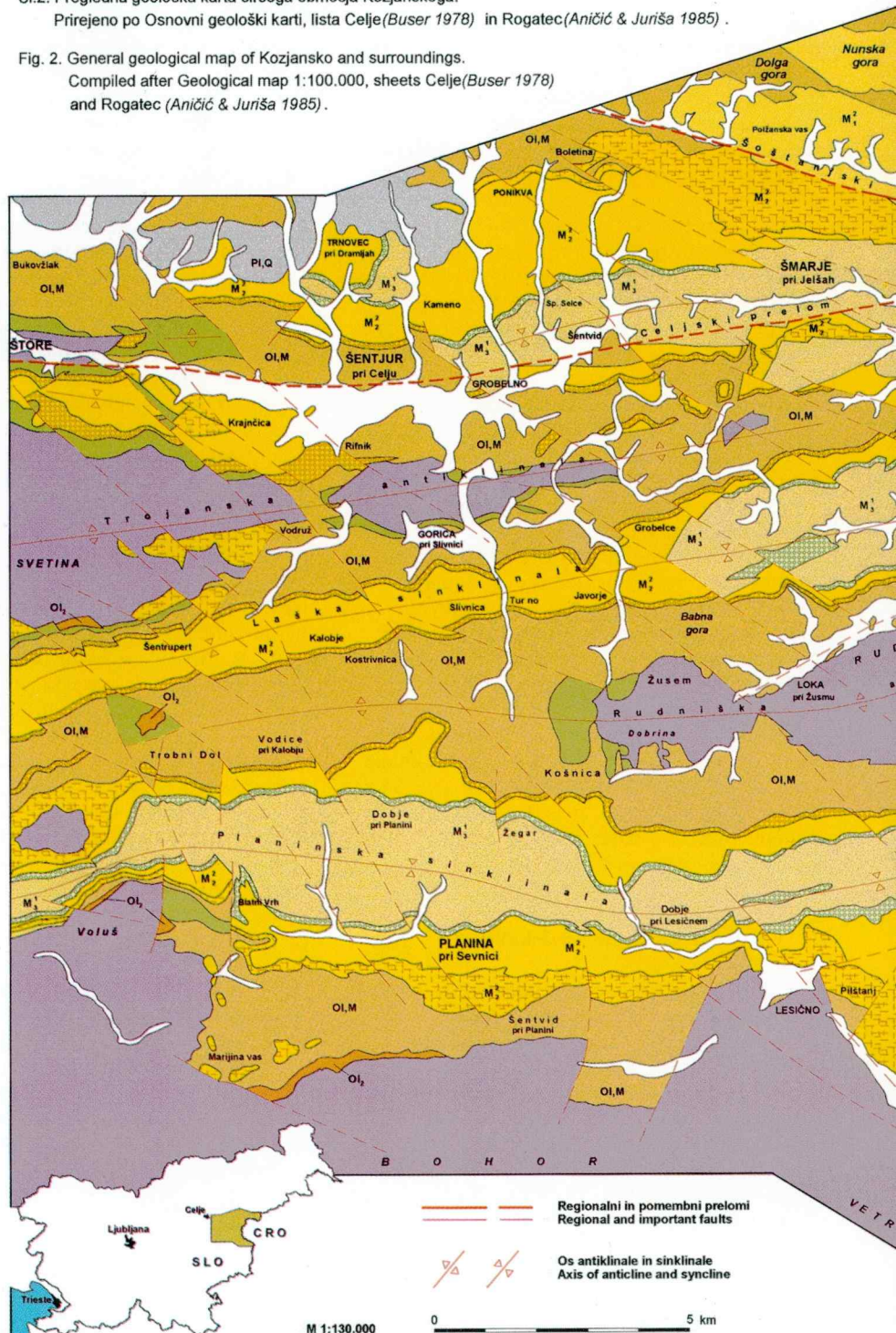
V geološko-tektonskem pogledu predstavlja Kozjansko obrobni del Panonskega bazena in del najbolj vzhodnih podaljškov Po-

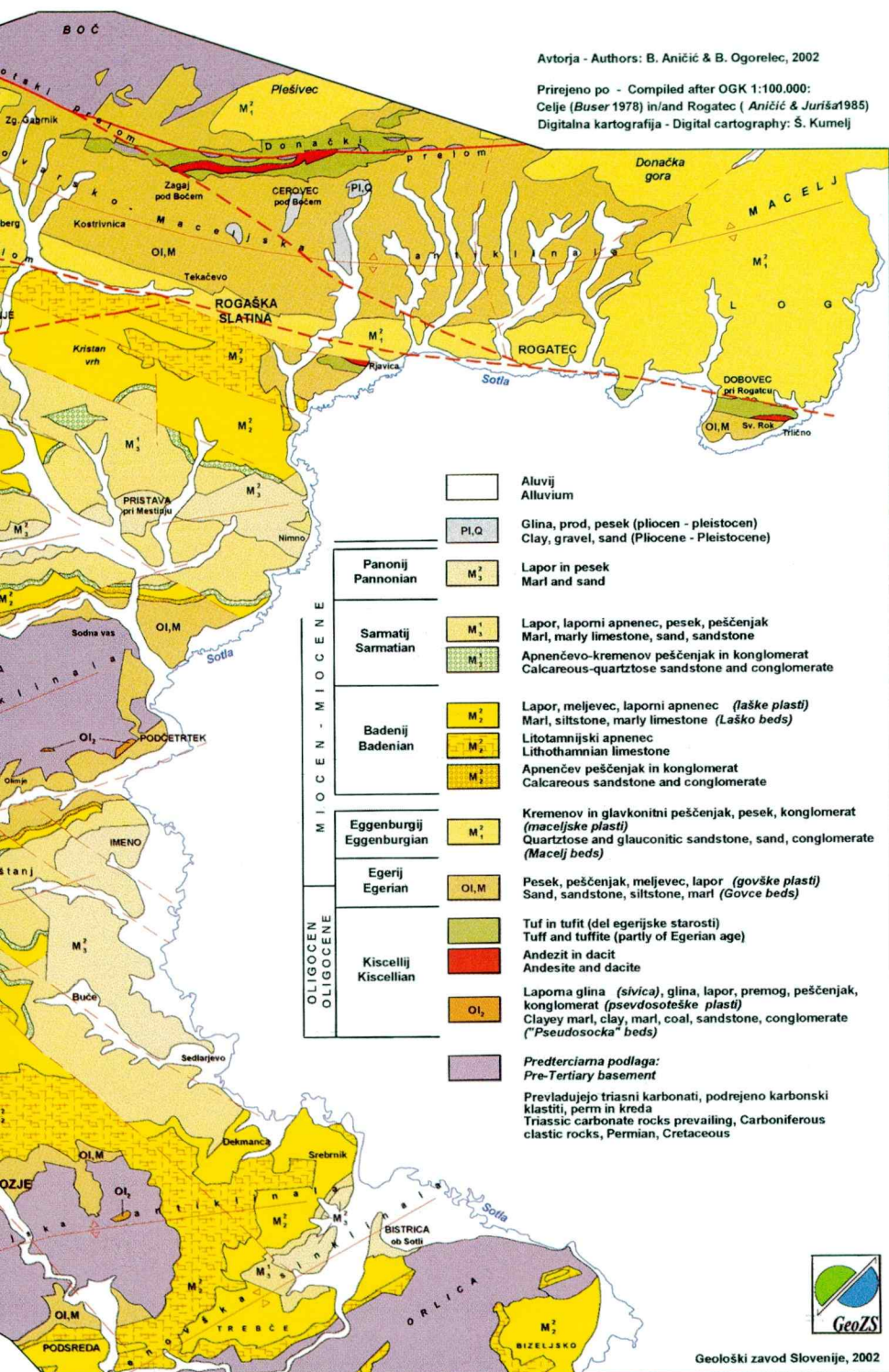
Sl.2. Pregledna geološka karta širšega območja Kozjanskega.

Prerejeno po Osnovni geološki karti, lista Celje (Buser 1978) in Rogatec (Aničič & Juriša 1985).

Fig. 2. General geological map of Kozjansko and surroundings.

Compiled after Geological map 1:100.000, sheets Celje (Buser 1978) and Rogatec (Aničič & Juriša 1985).





savskih gub. Ta prostor zapolnjujejo terciarni sedimenti in sedimentne kamnine, ki so diskordantno odloženi na paleozojske in mezozojske kamnine (sl. 2). Ozemlje je precej nagubano. Od severa proti jugu imamo več antiklinal in sinklinal. Osi gub imajo generalno smer vzhod – zahod.

Severni del Kozjanskega tektonsko pripada vzhodnemu delu Celjske udorine in Celjske sinklinale ter Pletovarsko–Maceljski antiklinali, južneje pa se vrstijo Motniška, Laška in Planinska sinklinala ter vmesne Teharska, Trojanska in Rudniška antiklinala. Slednji grade triasne karbonatne kamnine in predornine. Južni rob Kozjanskega predstavlja širše območje Lisce, Bohorja in Orlice kot najbolj vzhodni del Litijske antiklinale, ko jo grade tudi triasne in kredne kamnine (Buser 1979, Aničić & Juriša 1985a). Med Litijsko in Orliško antiklinalo na skrajnem jugovzhodnem delu raziskanega ozemlja se vleče še vzhodni podaljšek Senovške sinklinale (sl. 2).

Kozjansko je razkosano s številnimi prelomi, ki potekajo prvenstveno v dinarski smeri (NW–SE), nekateri pa v alpski (W–E) ter prečnodinarski (SW–NE) smeri. Geološko je posebej zapleteno ozemlje na severovzhodu raziskanega ozemlja, kjer potekajo štirje močni regionalni prelomi – Labotski, Donački, Šoštanjski in Celjski prelom.

Predterciarna podlaga

Najstarejše kamnine v predterciarni podlagi so karbonski in permski skrilavi glinavci, peščenjaki in konglomerati, ki jih nahajamo pri Svetini in vzhodno od Vrha nad Laškim ter na Bohorju in Orlici. Tem slede spodnjeperski masivni apnenci na južnem pobočju Boča ter srednjeperski rdečkasti klastiti Grödenske formacije. Te kamnine dobimo še pri Svetini, ob dolini Gračnice, na Boču, Orlici in Bohorju.

Triasne kamnine so na Kozjanskem razvite v celoti. Za skitijsko zaporedje je značilno menjavanje glinastih peščenjakov, meljevcev, skrilavih laporjev s plastmi oolitnega apnenca, dolomitov in lapornatih apnencev (Aničić 1990, Aničić & Dozet 2000, Ramovš et al. 2001). Anizij je razvit dolomitno (Ramovš & Aničić 1995, Aničić et al. 2001), v ladiniju pa je kar-

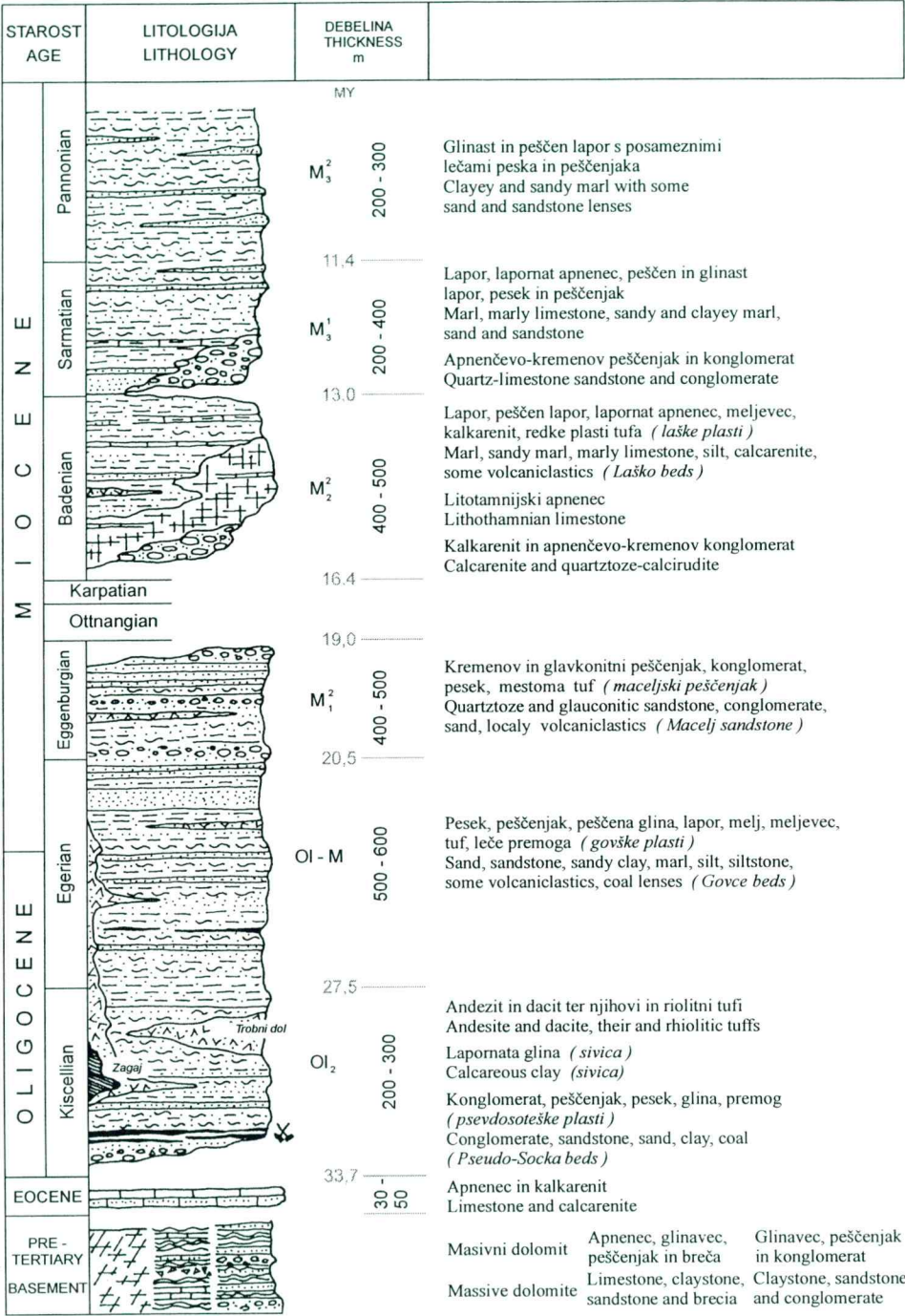
bonanto sedimentacijo (ploščasti apnenci z roženci), ki jo prekinjajo klastiti, spremljal vulkanizem (diabazi, keratofirji in tufi). Posebno zanimivi izdanki splilitiziranega diabaza in njihovih tufov so pri Svetini in na osrednjem delu Bohorja, na Rudnici in Orlici. Zgornjetriasne plasti nastopajo kot cordevolski masivni zrnati dolomiti in apnenci v grebenskem razvoju, ponekod pa kot ploščasti apnenci z roženci (globljevodni razvoj jula in tuvala). Norijska in retijska stopnja sta zastopani kot plastnat dachsteinski apnenec z znaki med- in podplimskega razvoja in paleozakrasevanja, kot plastnat dolomit z gomolji roženca (»baški razvoj«), največ pa je zrnatega dolomita z megalodontidami (glavni dolomit).

Diskordantno na zgornjetriasnih plasteh so mestoma (na Bohorju, Veterniku, južnih pobočjih Orlice ter na Rudnici) odloženi še beriassijski globjevodni lapornati apnenci z roženci in s kalpionelami ter spodnje- in zgornjekredni fliš, apnenčeve breče ali apnenci, glinavci in kalkareniti z rožencem (Buser et al. 1982, Aničić 1990).

Terciar

Na Kozjanskem so najbolj razširjene terciarne kamnine. Na celotnem raziskanem ozemlju so odložene diskordantno, najpogostejše na srednje- in zgornjetriasne apnenice in dolomite. Na Boču, Bohorju, vzhodno od Vrha nad Laškim ter severno od Sevnice je bila erozijska aktivnost še intenzivnejša. Tam miocenski litotamnijski apnenci in druge terciarne kamnine leže transgresijsko celo na klastitih karbonske starosti (Buser 1978), na severnem pobočju Bohorja in Veternika ter na južnem pobočju Orlice pa na spodnje- in zgornjekrednih flišnih kamninah.

Skupna debelina terciarnih plasti, ki so razvite pretežno klastično kot sedimenti molasnega tipa, na širšem območju Kozjanskega doseže med 2000 in 2500 metri. Obsegajo zaporedje med spodnjim oligocenom (kiscelijem) in panonijem (sl. 3) Za Kozjansko je značilen hiatus v spodnjem in srednjem miocenu, ki obsega otnangijsko in karpatijsko stopnjo v debelini ca 600 metrov, na nekaterih območjih pa tudi del badenija. Kamnine teh starosti so razvite v Halozah in v Slovenskih Goricah, severno od Boča in Donačke gore.



Sl. 3. Shematski litološki stolpec terciarnih plasti na Kozjanskem. Razdelitev oligocena in miocena glede na zonacijo Centralne Paratetide (Rögl 1996) in standardno časovno skalo po Berggren et al. (1995).

Fig. 3. Schematic lithologic column of Tertiary beds in the Kozjansko area. Oligocene and Miocene stages according to zonation of Central Parathetys (Rögl 1996) and standard time-scale Berggren et al. (1995).

Kiscellij (spodnji oligocen)

Najstarejše terciarne kamnine na predstavljenem območju so z izjemo manjše krpe eocenskega numulitnega apnenca in kalkarenita na vzhodnem pobočju Boča, spodnje-oligocenske – kiscellijske starosti. Razvite so kot bazalni konglomerati, meljasti laporji, gline, peski in slabo sprijeti peščenjaki ter piroklastiti. V spodnjem delu zaporedja se med peski in laporji javljajo tudi plasti premoga, ki so jih še do nedavnega odkopavali v danes opuščenih premogovnikih pri Laškem, Senovem, Trobnem Dolu ter na več krajih v okolici Babne gore in Rogaške Slatine. Imenovali so jih **pseudosoteske plasti**, ki so litološko sicer podobne pravim soteskim plastem (srednjeeocenske starosti), a so mlajše (Jelen et al. 1992, Odin et al. 1994).

Nad pseudosoteskimi plastmi leži siva lapornata glina, ki je v geološki literaturi znana kot **sivica**. Po mineraloških in granulometričnih značilnostih je to lapornata meljasta glina s 25 % karbonata in okrog 10 % kremenca. Med minerali glin, ki jim pripada ca 60 %, močno prevladuje muskovit/illit

(40 %) nad kaolinitom in kalcijskim montmorillonitom. Sveža kamnina je trda in se ponekod kroglasto kroji. Po svojih litoloških značilnostih in po podobnosti foraminiferne favne, ki ji daje morski značaj, je sivica podobna kiscellski glini na Madžarskem. Med foraminiferami so stratigrafsko pomembne *Tritaxia* (*Clavulinoides*) *szaboi*, *Almaena* ex. gr. *osnabrugensis*, *Vaginulinopsis gladius* in *Planularia kubiryii* (Rijavec 1978, 1984 in Rijavec v Buser 1979 ter v Aničić & Juriša 1985b).

Znotraj kiscellijskega sedimentnega kompleksa so posebno značilni izlivi **andezita in dacita ter njihovi tufi**. Večji kompleks plitvega andezitnega intruziva in močno spremenjene lave je pri Zagaju (sl. 4) in Cerovcu pod Bočem, precej sveže steklaste lave pa pri Trličnem blizu Rogatca. Piroklastiti so dokaj razprostranjeni tudi v okolici Trobnega Dola, kjer dosežejo debelino do 100 m (Kralj 1999). Najdemo jih tudi pri Blatnem vrhu, pri Košnici, Dobrini, v okolici Štor in Šentjurja, med Zagajem in Cerovcem pri Rogaški Slatini ter pri Sv. Roku ob Sotli, vzhodno od Rogatca. Koherentne predornine in piroklastiti so bili navrtani tudi z več



Sl. 4. Kamnolom andezita Zagaj pri Rogaški Slatini.

Fig. 4. The Zagaj andesite quarry at Rogaška Slatina.

vrčinami na širšem območju Rogaške Slatine in Rogatca.

Vulkansko delovanje se je na širšem Kozjanskem najverjetneje pričelo z izlivi andezitne lave. V Zagaju izdanja masiv kislega andezita (tabela 1), ki je močno spremenjen. **Andezit** je nastal iz lave, deloma pa pripada podpovršinskemu intruzivu, ki je zapolnil vulkansko žrelo. Tako lava kot tudi intruziv sta razvita mestoma avtoklastično. Hialoklasti so ponekod veliki do nekaj cm, najdemo pa tudi bolj drobnozrnate različke, ki so veliki do nekaj mm. Andezitne predornine so močno spremenjene. Nekdanje vulkansko steklo nadomeščajo filosilikati, predvsem klorit, illit in glineni minerali z zmesno strukturo vrste klorit/montmorillonit in illit/montmorillonit ter mikrokristalni kremen. Plagioklazi oligoklazne sestave so dvojčično in conarno grajeni (tab. 1, sl. 1) in so mestoma še ohranili prvotno sestavo. Večina njih je spremenjena v drobnozrnate agregate albita in v kalcit. Poleg klorita najdemo v predornini tudi do

Tabela 1: Kemijska sestava izlivnih predornin in piroklastitov s Kozjanskega. Za –Zagaj, acid andesite; Tr – Trlično, dacite; SR – Sveti Rok, rhyolitic tuff; TD – Trobni Dol, borehole Tdp-1/84, a depth of 83,5 m, rhyodacitic tuff; na – ni analizirano

Table 1: Chemical composition of coherent extrusive rocks and pyroclastites from Kozjansko. Za –Zagaj, acid andesite; Tr – Trlično, dacite; SR – Sveti Rok, rhyolitic tuff; TD – Trobni Dol, borehole Tdp-1/84, a depth of 83,5 m, rhyodacitic tuff; na – not analysed

Sample/ Oxide wt. (%)	Za-9	Tr-10	Tr-11	SR-13	TD-14
SiO ₂	57,0	65,8	63,9	71,5	69,1
TiO ₂	0,79	0,61	0,61	0,27	0,2
Al ₂ O ₃	17,8	16,0	15,8	15,3	11,1
Fe ₂ O ₃	1,07	0,9	1,0	1,2	2,6
FeO	5,1	4,2	4,6	1,2	0,39
MnO	0,13	0,10	0,10	0,05	0,02
MgO	4,32	0,97	0,98	0,72	0,4
CaO	5,23	4,62	4,57	0,29	1,1
Na ₂ O	3,67	4,32	4,16	3,45	2,9
K ₂ O	0,36	1,21	1,33	4,64	2,3
P ₂ O ₅	0,16	0,15	0,14	0,01	0,01
H ₂ O ⁺	n.a.	n.a	n.a	n.a	n.a
H ₂ O ⁻	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
CO ₂	<0,01	<0,01	1,32	<0,01	2,3
L.O.I.	3,59	1,80	1,85	1,55	10,1
Sum.	100,3	100,4	99,1	100,4	100,2

Sample/ Element (ppm)	Za-9	Tr-10	Tr-11	SR-13
Li	62	2	<1	<1
Be	1,5	2,5	2,5	3,5
B	21	23	31	31
S (%)	0,01	<0,01	0,01	0,04
Cl ppm	<50	752	739	
Sc	16,2	20,6	20,1	6,0
V	139	38	37	13
Cr	13	22	40	35
Co	33	31	24	4
Ni	5	2	3	<1
Cu	8,7	6,6	13,3	3,5
Zn	73,1	86,1	86,1	50,7
Ga	16	17	17	16
Ge	<10	<10	<10	<10
As	4	10	10	8
Se	<1	<1	<1	<1
Rb	19	68	65	
Sr	326	263	264	194
Y	21	33	36	
Zr	120	151	149	294
Nb	11	15	14	19
Mo	<1	<1	<1	<1
Ag	0,4	0,6	0,4	0,4
Cd	0,2	0,3	<0,2	
In	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Sn	4	5	4	5
Sb	0,5	0,6	0,8	<0,2
Cs	<3	10	3	7
Ba	195	571	521	1160

Sample/ Element (ppm)	Za-9	Tr-10	Tr-11	SR-13
La	20,9	42,3	47,9	53,5
Ce	44,7	91,9	103,0	63,4
Pr	4,6	9,6	10,9	10,1
Nd	19,7	38,8	44,8	38,9
Sm	5,0	8,1	10,3	8,1
Eu	1,49	1,70	1,90	1,86
Gd	4,7	7,6	8,3	7,6
Tb	0,8	1,3	1,4	1,3
Dy	5,5	8,5	9,9	8,7
Ho	1,06	1,68	1,87	1,80
Er	3,6	4,6	5,8	5,8
Tm	0,5	0,8	0,8	0,8
Yb	3,5	4,8	5,2	5,6
Lu	0,51	0,71	0,83	0,80
Hf	1	13	1	5
Ta	3	4	4	4
W	81	158	130	29
Au	18	110	41	9
Hg	77	<5	<5	<5
Tl	0,1	1,0	1,0	1,7
Pb	<2	11	10	9
Bi	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Th	8,4	12,3	13,7	20,9
U	0,9	4,0	0,7	10,1

nekaj desetink mm velika zrna sfena. Fe-mični minerali so najverjetneje pripadali av-

gitu, ki je tudi močno nadomeščen s kloritom, kalcitom, sfenom in ponekod drobnozrnatim kremenom.

Kisli andezit iz Zagaja pod Bočem vsebuje 57 % kremenice. Visoka vsebnost magnezija je nedvomno posledica spremenjenosti kamnine, predvsem kristalizacije filosilikatov. Zaradi procesov avtogene mineralizacije je precej nizka vsebnost kalija, ki je bil iz kamnine najverjetneje izpran. Na spremenjenost kamnine kaže tudi sorazmerno visoka žarozguba, ki znaša skoraj 4 %.

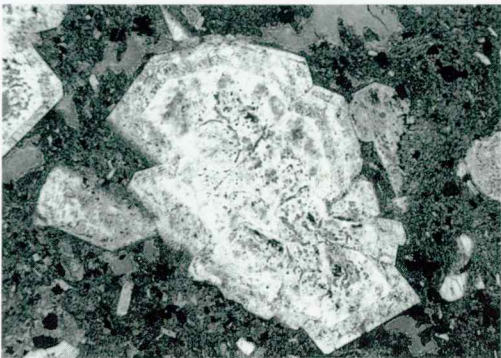
Z razvojem vulkanskega delovanja je postala sestava predornin nekoliko bolj kisla, dacitna. Pri Trličnem blizu Rogatca je izliv **steklaste dacitne lave** s trakasto teksturo (tab. 1, sl. 2). Kamnina je precej sveža. Vulkansko steklo je le delno devitrificirano in pod mikroskopom svetlo do temno rjave barve z drobnodispergiranimi železovimi oksidi in kristaliti plagioklazov. Vtrošniki plagiokla-

zov so sveži, dvojčično grajeni in pretežno oligoklazne sestave. Femičnih mineralov skorajda ni, našli smo le sledove biotita. Dacit iz Trličnega vsebuje v treh preiskanih vzorcih od 63,9 % do 65,0 % kremenice (tabela 1). Ta manjša variabilnost v sestavi je posledica nehomogenosti lave, ne le posameznih trakov, temveč tudi prisotnosti nevulkanskih primesi, katere je lava zajela med tečenjem po morskem dnu. Robni deli lave so nekoliko avtobrečirani in močno hidrotermalno spremenjeni.

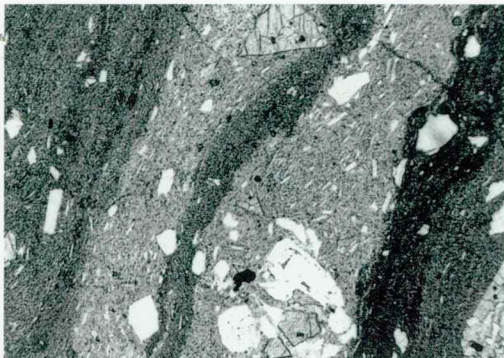
Pripadnost preiskanih predornin (sl. 6) andezitom (Zagaj) oziroma dacitom (Trlično) smo potrdili tudi z uvrstitvijo na diagram vsote alkalij ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) in kremenice (LeBas et al. 1986), enak rezultat pa smo dobili tudi na diagramu imobilnih elementov kremenice in razmerja cirkonija napram titanovemu oksidu ($\text{SiO}_2 - \text{Zr/TiO}_2$) po Winchester & Floyd (1977). Da bi določili

Tabla 1 – Plate 1

- 1 Porfirska struktura kislega andezita iz kamnoloma Zagaj pri Rogaški Slatini. Presevna polarizirana svetloba, 20 x
Porphyritic texture of acid andesite from Zagaj quarry at Rogaška Slatina. PPL, 20 x
- 2 Trakasta dacitna lava iz Trličnega pri Rogatcu. Presevna polarizirana svetloba, 20 x
Banded lava flow from Trlično at Rogatec. PPL, 20 x
- 3 Kristaloklastični tuf iz vrtine Tdp-1/84, globina 149,3m, cementiran s kalcitom in piritom. Presevna polarizirana svetloba, 20 x
Crystal tuff from borehole Tdp-1/84, a depth of 149,3 m, cemented with calcite and pyrite, PPL, 20 x
- 4 Tuf iz vrtine Tdp-1/84 (110 m), ki je močno spremenjen v glinene minerale z zmesno strukturo vrste illit/montmorillonit (svetlo polje) in klinoptilolit (temno polje). Presevna polarizirana svetloba med navzkrižnimi nikoli, 20 x
A tuff unit in the borehole Tdp-1/84 (110 m), extensively altered to a mixed layer illite/montmorillonite (light) and clinoptilolite (dark), PPL, 20 x, +N
- 5 Plovčev lapilni tuf, vrtina Tdp-1/84 (93,4 m). Plovci so nekoliko razpotegnjeni in kažejo plamenasto strukturo. Presevna polarizirana svetloba, 20 x
Pumice lapilli tuff, borehole Tdp-1/84 (93,4 m). Pumice lapilli are elongated and show flame texture, PPL, 20 x
- 6 Klinoptilolit, ki nadomešča vulkansko steklo. Presevna polarizirana svetloba med navzkrižnimi nikoli, 20 x
Clinoptilolite, replacing volcanic glass, PPL, +N, 20x
- 7 Peperit sivice in riolita, vrtina Tdp.1/84, 43,5 m, presevna polarizirana svetloba, 20 x
Mudstone-rhyolite peperite, borehole Tdp-1/84 (43,5 m), PPL, 20 x
- 8 Tufit, vrtina Tdp-1/84 (16,5 m). Presevna polarizirana svetloba, 20 x
Tuffite, borehole Tdp-1/84 (16,5 m), PPL, 20 x



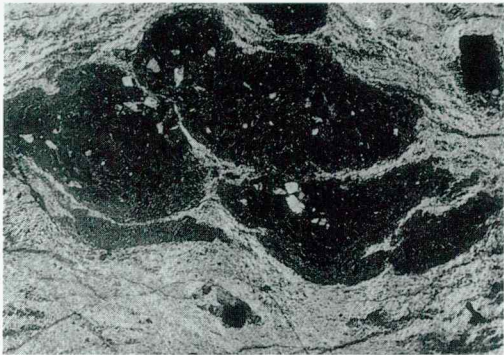
1



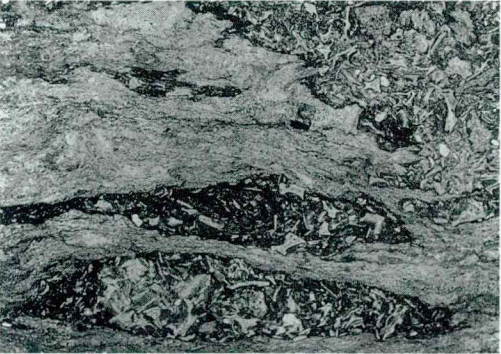
2



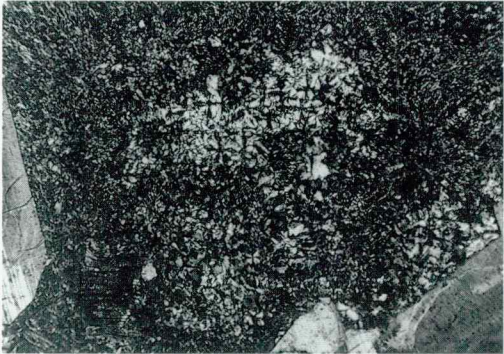
3



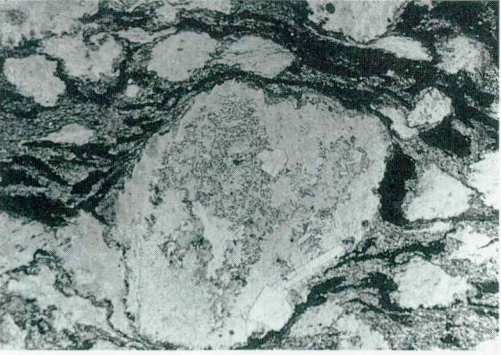
4



5



6



7

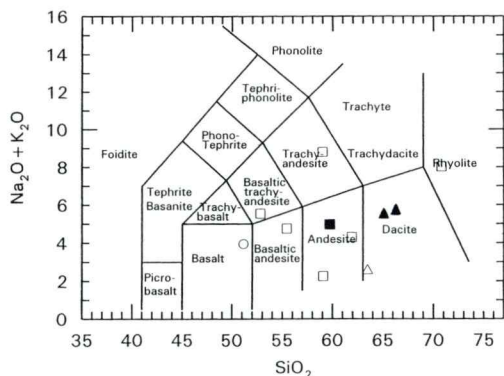


8



Sl. 5. Peščena krogla z limonitizirano skorjo v plastnatem egerijskem pesku. Vonarje ob Sotli.

Fig. 5. Sand ball with limonite crust in a bedded Egerian sand. Vonarje in the Sotla valley.



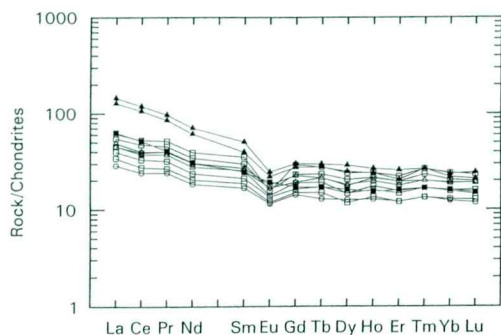
Sl. 6. Diagram vsebnosti alkalij in kremenice (LeBas et al. 1986) za preiskane vzorce predornin s Kozjanskega (poln kvadrat – kisli andezit iz Zagaja, polna trikotnika – dacit iz Trličnega), ter za predornine s Smrekovca (prazni krog, kvadrati, trikotniki).

Fig. 6. Total alkali – silica diagram (LeBas et al. 1986) for the samples from Kozjansko (close square – acid andesite from Zagaj, closed triangles – dacite from Trlično), and for the Smrekovec volcanic rocks (open circle, squares, triangles).

kalcijsko-alkalni oziroma toleitni značaj predornin smo jih uvrstili na diagram razmerja skupnega železa, preračunanega v dvovalentno obliko in magnezijevega oksida

(FeO^*/MgO) ter kremenice (Myashiro 1974). Kisli andezit iz Zagaja, ki je precej spremenjen, kaže kalcijsko-alkalijski in dacit iz Trličnega toleitni značaj, kar je obratno, kot smo zasledili pri raziskavah predornin s Smrekovca (Kralj 1996). Predornine s Smrekovca so prav tako kalcijsko-alkalijske ali toleitne, vendar so si vrednosti razmerij $\text{SiO}_2 - \text{FeO}^*/\text{MgO}$ zelo blizu, jasen kalcijsko-alkalijski značaj pa imajo le najbolj kisle, dacitne predornine. Lavo iz kamnoloma Trlično so analizirali že Hinterlechner-Ravnikova in Pleničar (1967) ter Šimunič in Pamič (1993). Njihove analize so ob upoštevanju žaroizgube podobne našim. Tudi po Šimunič in Pamič (1993) uvrščata lavo iz Trličnega med toleitne predornine, tako kot vse ostale s sosednjega območja na Hrvaškem, ki sta jih analizirala.

Med slednimi prvini (tabela 1, sl. 7) so v primerjavi s Smrekovcem posebno zanimive prvine redkih zemelj (REE). Normirali smo jih na hondrite po Nakamura (1974). Kisli andezit iz Zagaja kaže podobno težnjo obogatitve lahkih REE z negativno evropskevo anomalijo kot andeziti s Smrekovca (Kralj 1996), čeprav vsebuje precej več lantana, cerija in praeodima. Dacit iz Trličnega je precej bogatejši z REE, predvsem lahkiimi,



Sl. 7. Na hondrite normalizirane vsebnosti prvin redkih zemelj preiskanih vzorcev predorin s Kozjanskega (poln kvadrat – kisli andezit iz Zagaja, polna trikotnika – dacit iz Trličnega), ter za predorine s Smrekovca (prazni krog, kvadrati, trikotniki).

Fig. 7. Chondrite normalised REE abundance for the samples from Kozjansko (close square – acid andesite from Zagaj, closed triangles – dacite from Trlično), and for the Smrekovec volcanic rocks (open circle, squares, triangles).

kar je tudi pričakovati glede na bolj kisel značaj kamnine.

Vzhodno od Rogatca izdanjajo pri Sv. Roku ob Sotli **riolitni tufi** (tabela 1). Ti so drobno in debeložrnati, mestoma pa najdemo v njih tudi lapilne različke. Vulkansko steklo tufov je močno spremenjeno v minerale glin, predvsem kalcijski montmorillonit, zeolit, klinoptilolit in kristobalit, vtrošniki pa so še sveži. Menimo, da so bili ti tufi transportirani s podmorskimi piroklastičnimi tokovi, saj so grajeni večinoma masivno in ne kažejo plastovitosti, ki bi bila lahko posledica bodisi usenjanja vulkanskega pepela in prahu iz zraka ali pa transporta s piroklastičnimi valovi. Tufi vsebujejo preko 70 % kremenice, na riolitni značaj pa kažeta tudi visoka vsebnost kalija (4,64 % K_2O) in natrija (3,45 Na_2O).

Sekvenca piroklastitov Trobnega Dola, ki leži južno od Šentruperta oziroma vzhodno od Laškega, je bila prevrtna z dvema vrtnama Tdp-1/84 in Tdp-2/84. V obeh vrtnah ta prične in konča v sivici, kar dokazuje, da je imel vulkanizem v celoti podmorski značaj.

Piroklasti po sestavi pripadajo **riodacitnemu tufu**, v vrtni Tdp-1/84 pa smo našli tudi sledove peperita. Z vrtnama je bila prevrtna celotna piroklastična sekvenca, ki je debela preko 100 m.

Piroklastiti Trobnega Dola so se sedimentirali z visokoturbulentnimi podmorskimi

tokovi ki so med gibanjem po morskem dnu erodirali tudi klastične sedimente in premogove plasti. Na dnu sekvence najdemo do nekaj cm debele plasti presedimentiranih kristaloklastičnih tufov s kalcitnim vezivom (tab. 1, sl. 3). Osrednji horizont piroklastične sekvence je debel skoraj 90 m in sestoji iz masivnega lapilnega (tab. 1, sl. 4, 5) ter debelo- in drobnazrnatega vitroklastičnega tufa. V spodnjem delu sekvence so kosi plovca veliki tudi preko 7 cm, njihova porušena notranja zgradba in močna razpotečenost pa kažeta na delno nataljevanje med transportom. Večkrat opazujemo normalno gradacijo lapilov, ne pa tudi osnove, kar je posledica visoke viskoznosti in turbulentnosti podmorskega toka. Piroklastiti so močno spremenjeni v klinoptilolit (tab. 1, sl. 6), kalcijski montmorillonit in kristobalit.

V vrhnjem delu piroklastične sekvence je v Trobnem Dolu nekaj cm debel **peperit sivice in riodacita** (tab. 1, sl. 7). Peperit je nastal med izlivom lave v sedimente, nasičene z vodo. Sestoji iz do 2 cm velikih fragmentov vulkanskega stekla nepravilnih oblik. Vulkansko steklo je močno spremenjeno v klinoptilolit in mikrokristalni kremen. Sivica, v katero je intrudiral riodacit je bila bogata z organsko snovjo, ki se je združila v podolgovate leče, ki poudarjajo fluidalno teksturo kamnine. Prisotnost preperita kaže, da je bilo vulkansko žrelo precej blizu. Nad peperitom se v debelini preko 30 m izmenjujejo presedimentirani drobnazrnati vulkanoklastiti – tufiti in sivica. Tufiti (tab. 1, sl. 8) so spremenjeni v klinoptilolit in glinene minerale – kalcijski montmorillonit, beidellit in njune zmesne minerale.

Glede na petrološke lastnosti lahko piroklastite iz Trobnega Dola koreliramo z onimi, ki so v neposredni sosesčini Blatnega vrha, v Košnici pri Šentjurju, pri Zg. Nagonjah severno od Rogaške Slatine ter pri Sv. Roku ob Sotli. Ekvivalent zgornjim presedimentiranim piroklastitom iz vrtni Tdp-1/84 najverjetneje predstavljajo zelo drobnazrnati vitroklastični tufi riolitne ali riodacitne sestave, ki izdanjajo pri Cerovcu, nedaleč od Rogaške Slatine in pri Košnici. Sestojajo iz črepijic vulkanskega stekla, ki imajo pogosto ohranjeno Y obliko, do 0,1 mm velikih odlomkov plagioklazov ter submikroskopske osnove. Ta je močno spremenjena v minerale glin, predvsem kalcijski montmorillonit. Pri Blatnem vrhu pa naj-

demo tudi tufite, ki ne predstavljajo le na kratki razdalji presedimentiranega tufskega materiala, temveč mešane vulkanogeno-klastične sedimente. Vsebujejo črepinje vulkanskega stekla, do 40 % zrn kremenca, odlomke sorazmerno svežih plagioklazov, posamezna zrna granatov ter drobnnozrnato mešano vulkansko – klastično osnovo. Med avtigenimi minerali je največ kalcijekega montmorillonita, poleg tega pa tudi nekaj klinoptilolita, ki nadomešča predvsem vulkansko steklo črepinje plagioklazov ter glavkonit.

Peščenjaki kiscellijske starosti so večinoma zelo drobnnozrnati, tankoplastnati ali laminirani. Stopnja litifikacije je srednje dobra, le ponekod najdemo slabše cementirane in porozne različke. Mestoma je opazna bioturbacija in lečasta plastnatost (flaser bedding), večkrat pa je prisotne precej organske snovi. Ta se pojavlja kot impregnacija kamnine ali v obliki leč, lamin in tankih plasti. Pogosto je piritizirana v obliki framboidov.

V mineralni sestavi detritičnih zrn prevladuje kremen, v podrejenih količinah najdemo tudi muskovit, v sledovih pa glinence in biotit. Vezivo je največkrat roženčevosericitno in predstavlja diagenetsko spremenjen matriks. V nekaterih vzorcih se kot cement javlja tudi kalcitni sparit.

Debelina kiscellijskih plasti na Kozjanskem znaša 200 do 300 metrov.

Egerij (zgornji oligocen in spodnji miocen)

Te plasti so na širšem prostoru med Savinjo in Sotlo najbolj razširjene med terciarnimi kamninami. V geološki literaturi so znane kot **govške plasti**, imenovane po kraju Govce pri Laškem (Kuščer 1967). Dosežejo debelino okrog 500 metrov. Večinoma so razvite klastično, kot glineni in karbonatni meljevci, peski in peščenjaki ter poredkeje konglomerati. Debelozrnati konglomerati se javljajo kot več metrov debele bazalne plasti Govške formacije, večinoma pa se menjavajo s peščenjaki in peski. Okolje sedimentacije je bilo večji del morsko, na kar sklepamo po številnih fosilnih ostankih, med katerimi so za biostratigrafsko razčlenitev najpomembnejše foraminifere *Bathysiphon taurinensis*, *Bulimina elongata*, *Ammonia beccarii*, *Glossospira charoides*, *Spiroplectammia carinata* ter vodilni vrsti za spodnji egerij *Lepi-*

docyclina morgani in *Miogypsina formosensis* (Rijavec 1978, 1984 in Rijavec v Buser 1979 in v Aničić & Juriša 1985b).

Za določene, predvsem peščene sekvence predvidevamo tudi rečni facies, facies delt ter zamočvirjene rečne sisteme. Na slednje sklepamo po številnih organskih fragmentih (odtisi listja, les, organska snov) in lečah premoga. Na Babni gori, nedaleč od Loke pri Žusmu, dobimo med peskom poleg rastlinskih ostankov tudi zgojenela debela, ki verjetno pripadajo palmam. Peske in peščenjake, bogate z organsko snovjo najdemo na več mestih, predvsem pri Volčji jami, pri Rakovcu vzhodno od Slivniškega jezera ter severno od Rogaške Slatine.

Prevladujoč litofacies egerijskega zaporedja predstavljajo drobnnozrnati **meljevci**, ki so večkrat tudi nekoliko peščeni (tab. 2, sl. 1). Karbonat vsebujejo v obliki bioklastov (fosilov), litičnih drobcev apnencev in dolomita ter deloma tudi kot cement. Granulometrične analize več vzorcev meljevca so pokazale, da ima ta srednjo zrnnavost med 10 in 15 µm. Meljevci so pogosto masivni, najdemo pa tudi laminirane različke. Laminacija je navadno izražena s spremembo v zrnnavosti. Nekoliko debeleje zrnate plasti vsebujejo več zrn kremenca in lističev sljude, navadno muskovita, v bolj drobnnozrnati frakciji pa prevladujejo minerali glin, predvsem illit in Ca-montmorillonit. Pogosta sta v kamnini tudi dispergirana limonit in organska snov.

Peščenjake smo razdelili na štiri podlitofaciese. Prvemu pripadajo **tufski peščenjaki**, katere smo našli pri Irju (tab. 2, sl. 2), severno od Rogaške Slatine in se od tufitov mešane sestave močno razlikujejo. V njih prevladujejo drobci koherentnih vulkanskih kamnin s steklasto osnovo in mikroliti plagioklazov. Odlomkov vtrošnikov plagioklazov je mnogo manj. Večinoma so močno spremenjeni v drobnnozrnate agregate albita ali pa so kalcitizirani ali nadomeščeni s kloritom. Tudi zrna olivina so zelo redka in popolnoma spremenjena v kalcit in mikrokristalni kremen, na robovih pa v limonit in sfen. Velikosti zrn nihajo med 0,1 in 0,5 mm, zaobljenost pa je različna, tako da najdemo oglata do zaobljena zrna. V vezivu prevladujejo temno obarvani oksidi železa, v manjši meri se pojavljajo tudi klorit, kalcit, sfen in mikrokristalni kremen.

Tufski peščenjaki bi lahko nastali s pre sedimentacijo hialoklastitov in peperitov, saj drobci vulkanskih kamnin močno spominjajo na nekoliko zaobljene hialoklaste.

Debelozrnati peščenjaki drugega podlitofaciesa se pojavljajo skupaj s konglomerati pri Šentrupertu na Podgorskem hribu in na južnem pobočju Boča. Sestojajo iz bioklastov (odlomki školjčnih lupin, hišice foraminifer, briozoji ...) ter litičnih zrn mikritnega apnenca (tab. 2, sl. 3, 4). Med terigenimi zrni prevladuje kremen, v podrejenih količinah pa nastopajo tudi litična zrna kvarcita, glinenec, vulkanskih kamnin, roženca, meljevcev in skrilavcev. Vezivo je večinoma mikritni kalcit, ki je ponekod že rekristaliziran v sparit. V sledovih najdemo tudi glavkonit v obliki lepih elipsoidnih zrn ali kot porni cement. Vsebnost bioklastov je zelo variabilna, niha med 0 in 40 %.

Z drugim podlitofaciesom egerijskih peščenjakov so tesno povezani tudi **konglomerati**, ki predstavljajo le njihove bolj debelozrnate različke. Lep konglomerat izdanja pri Šelekerju. Sestoji iz dobro zaobljenih in do nekaj cm velikih litičnih drobcov apnenca in dolomita, odlomkov meljevcev, posameznih litičnih zrn peščenjakov in močno spremenjenih vulkanskih kamnin. Kremenova zrna in litični drobci kvarcita so prisotni le v sledovih. Vezivo konglomerata sestavljajo sparitni kalcit, limonit in glavkonit.

Tretji podlitofacies egerijskega zaporedja predstavljajo drobno do srednjezrnati **litično kremenovi peščenjaki** s kalcitnim vezivom. Našli smo jih severno od Rogaške Slatine, v Košnici pri Šentjuru in nedaleč od Lemberga pri Šmarjah. Med detritičnimi zrni prevladuje kremen, poleg tega pa najdemo še litične drobce dolomita, muskovit, klorit, biotit, drobce močno spremenjenih vulkanskih kamnin, drobce metamorfnih in klastičnih sedimentnih kamnin, zrna roženca, glinenec in v sledovih tudi bioklaste ter avtigen glavkonit (tab. 2, sl. 5, 6). Kot vezivo se pojavlja mikrosparitni kalcit, ki pogosto nadomešča glinasto in drobnozrnato meljasto osnovo v peščenih meljvcih in meljastih peščenjaki. Zato se zrna le malokje neposredno dotikajo, razvit je bazalni tip cementa.

Podlitofacies **nekonsolidiranih peskov** in slabo konsolidiranih peščenjakov je najlepše odkrit ob cesti, ki vodi na Plohov Breg pri Olimju. V tem profilu je egerijski del zaporedja debel preko 500 metrov, njihova starost

pa je razen s foraminiferami dokazana tudi z nanoplanktonom (Pavšič & Aničič 1998, 1999), v katerem je določenih preko 30 vrst. Peski sivkaste in rumenkaste barve (sl. 8 in 9) imajo navadno masivno teksturo, mestoma kažejo tudi laminirano in navzkrižno plastovitost.

Analize bolj litificiranega peščenjaka, ki se javlja med slabo ali nekonsolidiranim peskom kažejo, da ta vsebuje 40 – 50 % kremen, do 12 % litičnih zrn, do 8 % glinenec, 2 – 3 % sljude, 20 – 30 % kalcita ter do 5 % dolomita. Vezivo je najbolj pogosto kalcitno, pornega tipa, ponekod pa tudi mikritno in z limonitno impregnacijo.

V lahki frakciji vsebujejo peski iz Plohovega Brega poleg kremenja še muskovit in glinence, v težki pa vrsto kamnotvornih mineralov večinoma metamorfnega porekla – granate, amfibole, piroksene, epidot, zoisit, stavrolit, disten, sfen in cirkon. Variabilnost sestave težke frakcije je vezana predvsem na stopnjo preperelosti mineralov. V subaernih, oksidacijskih pogojih so preperevanju podvrženi predvsem granati, pirokseni in amfiboli.

V vrhnjem delu egerijskega zaporedja opazujemo v profilu Plohov Breg redke plasti z do nekaj cm velikimi sploščenimi prodniki (luskami) glinenega meljevca, ki »plavajo« v slabo litificiranem meljastemu pesku (sl. 10). Posebnost teh lusk (pebbles, silt, balls) je, da so obdane z 1 – 3 mm debelo in krhko limonitizirano skorjo temno rjave barve. Rentgenska analiza je pokazala, da limonitno skorjo sestavljata goethit in v podrejeni količini lepidokrokot. Nastanek limonitnih skorij okrog lusk meljevcev tolmačimo z izluževanjem železovih ionov iz femičnih mineralov peska v oksidacijski coni sladkovodnega oz. vadoznega okolja, tako da te predstavljajo neko specifično preperinsko pedogeno tvorbo v času ottnangijske in karpatijske emerzijske faze. Železovi ioni so zaradi velike mobilnosti v vodnih raztopinah migrirali vzdolž con večje prepustnosti. Na stiku s prodniki meljevca so se sprva adsorbirali na glinenih mineralih, kasneje pa so zaradi povečanega dotoka železovih ionov kristalizirali v železove okside in hidrokside. V vasi Vonarje ob Sotli smo našli podobno zanimivo kroglasto tvorbo v navzkrižno plastovitem egerijskem pesku (sl. 5). Kroglasta oblika je najverjetneje nastala v času sedimentacije s povijanjem plasti. Kasneje pa so v

preperinskih oksidacijskih pogojih pričeli ob njenem robu kristalizirati tudi železovi oksidi in hidroksidi.

Iz profila Plohov Breg smo rentgensko raziskali vzorce meljaste laporje, drobnozrnate meljevce in melj. Preiskani sedimenti so egerijske, badenijske in sarmatijske starosti.

Vzorci kažejo dokaj enotno mineralno sestavo. V vzorcih egerijske starosti nastopajo med filosilikati mineral z zmesno strukturo tipa muskovit/illit/paragonit, Ca-montmorillonit in nanj vezani minerali z zmesno strukturo (MZS) tipa illit/montmorillonit, klorit in nanj vezani MZS tipa klorit/montmorillonit ter v manjši meri kaolinit in MZS tipa kaolinit/montmorillonit. Vzorci vsebujejo še kremen, plagioklaze, mikroklin, nekateri pa tudi kalcit in dolomit. Pirit je akcesoren. Vzorci badenijske in sarmatijske starosti vsebujejo vse zgoraj naštetje minerale v manjši količini, razen karbonatne komponente, ki s kalcitom prevladuje.

Sedimenti iz profila Plohov Breg sestojijo iz mineralov, ki pripadajo trem različnim

izvornim področjem, oziroma komponentam.

Prva je metamorfna in jo predstavlja MZS tipa muskovit/illit/paragonit z razmerjem muskovit/paragonit od 78/22 do 55/45.

Druga komponenta je vulkanskega izvora in jo predstavlja Ca-montmorillonit in nanj vezan MZS tipa illit/montmorillonit (I/M) z naključno ureditvijo slojnih sosledij ($R=0$) in razmerjam illit/montmorillonit od 10/90, 15/85 do 60/40. MZS tipa I/M z naključno ureditvijo kaže tudi na začetno stopnjo diagenetske pretvorbe montmorillonita v illit. Velika količina Ca-montmorillonita v sarmatiju nam govori za povečan paleotransport iz vulkanskih območij. Tretja komponenta je karbonatna in kaže na morski vpliv, zlasti v badeniju in sarmatiju. Mineralna sestava sedimentov iz Plohovskega Brega in njihov različen izvor je prikazana na sl. 11.

Na žalost profil Plohov Breg, kljub odlični odkritosti, ni zvezen. V njem je skrit daljši hiatus, ki zajema celotno obdobje eggenburgija, ottangija in karpatija ter precejšen del badenija, kar pomeni, da so bili na Koz-

Tabla 2 – Plate 2

- 1 Egerijski peščeni meljevec, nedaleč od Sv. Roka. Presevna polarizirana svetloba, 20 x
Egerian sandy siltstone from Sv. Rok. PPL, 20 x
- 2 Egerijski peščenjak prvega sublithofaciesa iz Irja (vzorec MD 21/86-4). Presevna polarizirana svetloba, 20 x
Egerian sandstone of the first sublithofacies from Irje (sample MD 21/86-4). PPL, 20 x
- 3 Egerijski peščenjak drugega sublithofaciesa iz Podgorskega hriba (vzorec TcB 8664). Presevna polarizirana svetloba, 20 x
Egerian sandstone of the second sublithofacies from Podgorski hrib (sample TcB 8664). PPL, 20 x
- 4 Enako kot sl. 3, med navzkrižnimi nikoli
The same as fig. 3, +N
- 5 Maceljski peščenjak iz Sp. Loga pri Rogatcu (vzorec TcB 20714). Presevna polarizirana svetloba, 20 x
Macelj sandstone from Sp. Log at Rogatec (sample TcB 20714). PPL, 20 x
- 6 Enako kot sl. 5, med navzkrižnimi nikoli
The same as fig. 5, +N
- 7 Badenijski laški lapor z globigerinami in drugimi mikrofosili. Mestoma je opazna piritizacija fosilov.
Marl with globotruncanas and other microfossils. Laško marl, Badenian.
TcB 2747, Vodruž pri Šentjurju, 50 x.
- 8 Številne globigerine dajejo badenijskemu laškemu laporju »peščen videz«.
According to numerous globigerinas the marl has «sandy appearance». Laško marl, Badenian.
TcB 2764, Prevorje pri Žegarju, 50 x.



1



2



3



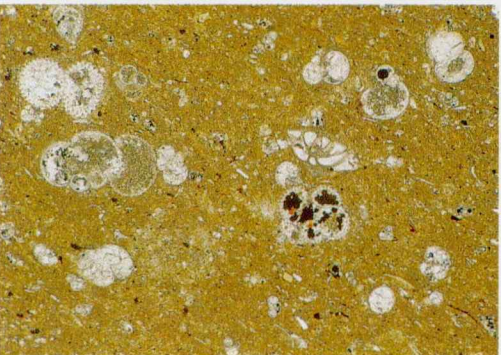
4



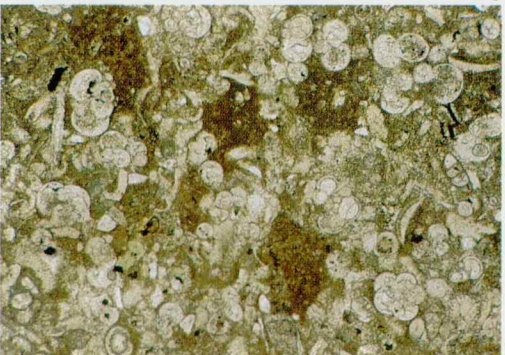
5



6



7



8

janskem v neogenu posamezni predeli, kot je ta med Podčetrtkom in Virštanjem, tudi 5-6 milijonov let okopneli.

Eno od še vedno čisto nerešenih geoloških vprašanj Kozjanskega sta časovno razdobje in vulkanska intenzivnost v času zgornjega oligocena in spodnjega miocena. Predori andezita, dacita in riodacita ter njihovih tufov datirajo večji del v daljše obdobje spodnjega oligocena (kiscellija). Avtorja osnovne geološke karte Rogatec (Aničić & Juriša 1985a) prikazujeta na Kozjanskem in na sosednjem Hrvaškem Zagorju zvezni vulkanizem v obdobju od srednjega oligocena do spodnjega miocena (kiscellij in egerij), medtem ko Buser (1978) na listu Celje dopušča možnost oziroma prikazuje dve ločeni vulkanski fazi in sicer obe v oligocenu. O dveh vulkanoklastičnih sekvencah znotraj oligocenskega klastičnega paketa v vzhodni Sloveniji poročajo tudi Jelen in sodelavci (2001). Prostor Savsko-Celjske tektonske cone, kamor umeščajo ozemlje južno od Rogaške Slatine, po njih pripada drugi sekvenci (med sivico in govškimi plastmi) s časovnim razponom med vrhnjim kiscellijem in spodnjim delom zgornjega egerija. Prva sekvenca, ki zajema Smrekovski bazen in prostor severno od Rogaške Slatine pa na čas med zgornjim eocenom in oligocenom.

Šimunić in Pamić (1993) ter Pamić in Balen (2001) so starostno raziskovali predormine Hrvaškega Zagorja, pa tudi okolice Rogatca. V splošnem omenjeni avtorji pripisujejo andezitnim predorminam egerijsko-eggenburgijsko, badenijsko in v okolici Rogatca celo panonijsko starost.

Točnega odgovora na to vprašanje ni dala tudi ta študija, z veliko verjetnostjo pa se nagibamo k dvema ali celo več vulkanskim

fazam (sl. 3). To zagovarjamo z različno mineraloško in kemično sestavo magme na posameznih izdankih (tabela 1).

Pri Rjavici, blizu Rogaške Slatine izdanja močno spremenjena in preperela vulkanska kamnina, za katero menimo, da je egerijske starosti. Prvotne sestavine kamnine nadomeščajo kaolinit, avtigeni albit, kremen, limonit, mestoma se pojavlja tudi analcim. Zaradi spremenjenosti ni mogoče zanesljivo ugotoviti, ali je kamnina izlivna ali vulkanoklastična, vendar pa menimo, da gre najverjetneje za koherentno vulkansko kamnino, morda plitvi, podpovršinski intruziv, v katerem je prišlo do tako močnih sprememb zaradi delovanja devteričnih fluidov. Robni deli kamnine so mestoma avtobrečirani.

Eggenburgij (spodnji miocen)

Tudi plasti eggenburgijske stopnje so razvite klastično. Prevladujeta litofaciesa meljevcev, peskov in peščenjakov, podrejeno pa najdemo tudi litofacies konglomeratov. Na raziskanem ozemlju so razširjene na Dolgi oz. Nunski gori ter v pasu med Polžansko vasjo, Rogaško Slatino, Rogatcem in Logom, na vzhodnem pobočju Boča (Plešivec in Kopa), posebej lepo in v velikem obsegu pa izdanjajo južno od Donačke gore in na Macelju, od koder se vlečejo na Hrvaško.

Na območju Polžanske vasi, Lemberga in Rogaške Slatine prevladujejo slabše vezani rumenorjavi **kremenovi peski** z vložki in lečami kremenovega peščenjaka, konglomerata in karbonatnega meljevca, na Plešivcu in Maceljski gori pa so klastiti močno litiificirani. Med temi prevladujejo srednje do drobnozrnati peščenjak in konglomerat. La-

Sl.- Figs. 8.-10. Profil Plohov Breg pri Olimju, egerijske plasti.

Plohov Breg at Olimje profile, Egerian beds.

8 - Debele plasti slabo litificiranega kremenovo-karbonatnega peska.

Thick beds of poorly lithified quartztoze-calcareous sand.

9 - Nekatere plasti so bogate z limonitimi impregnacijami.

Some beds are rich in limonite impregnations.

10 - Klasti meljevca z goethitnimi skorjami.

Claystone clasts (pebbles) with goethite crusts.



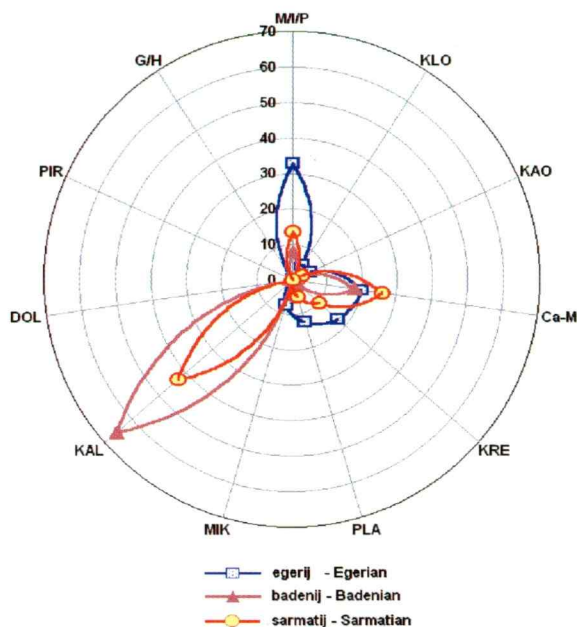
8



9



10



Sl. 11. Mineralna sestava sedimentov iz Plohovega Brega in njihov različen izvor
 Legenda: M/I/P – mineral z zmesno strukturo (MZS) muskovit/illit/paragonit, KLO – klorit + MZS tipa klorit/montmorillonit, KAO – kaolinit + MZS tipa kaolinit/montmorillonit, Ca – M – Ca-montmorillonit + MZS tipa I/M, KRE – kremen, PLA – plagioklazi, MIK – mikroklin, KAL – kalcit, DOL – dolomit, PIR – pirit, G/H – goethit/hematit.

Fig.11. Mineral composition of sediments from Plohov Breg showing diverse origin
 Legend: M/I/P – mixed layer minerals (ML) muscovite/illite/paragonite, KLO – chlorite + ML of the chlorite/montmorillonite type, KAO – kaolinite + ML of the kaolinite/montmorillonite type, Ca – M – Ca-montmorillonite + ML of the illite/montmorillonite type, KRE – quartz, PLA – plagioclase, MIK – microcline, KAL – calcite, DOL – dolomite, PIR – pyrite and G/H – goethite/hematite.

pornih vložkov je malo. Barva peščenjaka je značilno zelenosiva zaradi primesi glavkonitnih zrn, na preperelih površinah pa rumenkastosiva. Dragutin Gorjanovič – Kramberger, ki je leta 1904 raziskoval Zgornje Obsotelsko in Maceljsko goro, je ta peščenjak zaradi svojega posebnega izgleda in sestave poimenoval **maceljski peščenjak**. To ime se še danes uporablja v strokovni literaturi med slovenskimi in hrvaškimi geologi.

Jugozahodno pobočje Maceljske gore se širi proti Rogatcu in se imenuje Log. Ker so domačini že zdavnaj odkrili, da je ta kamen dober gradbeni material, se je tod razvila kamnarska industrija. Zasloveli so po imenitnih portalih, ki še danes krasi Rogatec, Rogaško Slatino, Celje in druge kraje. V obdobju največjega razcveta kamnarske industrije je na območju Loga obratovalo okrog 50 večjih ali manjših kamnolomov (sl. 12). Po 2. svetovni vojni se je tod razvila in-

dustrija brusov, saj je imel kamen dovolj kvalitetne abrazivne sposobnosti, homogeno sestavo in enakomerno zrnastost. Med domačini se je za ta peščenjak v okolici Loga udomačilo s precejšnjo tradicijo ime *ložanski kamen* (Aničić & Ramovš 1997, 1999). Na območju Plešivca vzhodno od Boča je znan poseben razvoj peščenjaka – *plešivški peščenjak*, ki pa se le ponekod uporablja.

Za maceljski peščenjak in še posebej za njegov različek – plešivški peščenjak sta značilni visoka stopnja litifikacije in diagenetskih sprememb. Mikroskopske analize kažejo, da pripadata litarenitom in sublarenitom. V mineralni sestavi močno prevladuje kremen (50 in celo do 70 %), zelo visok pa je tudi delež dolomita (15 – 30 %). Slednji najverjetneje predstavlja ostanek nekdanjega dolomitnega cementa in le v manjši meri detritičnih dolomitnih zrn. Glavkonit se pojavlja v plešivškem peščenja-



Sl. 12. Opuščen kamnolom maceljskega peščenjaka Zlaka v Zgornjem Logu.

Fig. 12. Abandoned quarry in the Macelj sandstone. Zlaka by Zgornji Log.



Sl. 13. »Dinozavrova koža« oziroma »tekstura zeljnatega lista« na spodnji strani badenijskega peščenjaka, ki je nastala z iztiskanjem porne vode zaradi obremenitev s sedimentom pri drsenju. Javorje pri Slivnici. Dolžina vzorca: 205 cm.

Fig. 13. »Dinosaur leather« – a »cabbage leaf texture« in Badenian sandstone. Javorje pri Slivnici. Length of the block: 205 cm. (Foto – Photo: Marjan Grm).

ku v sledovih, v maceljskem pa ga je mnogo več (do 5 %) in skupaj s kloritom daje kamnini značilno zeleno barvo (tab. 2, sl. 5, 6). Pogosto nadomešča drobce vulkanskih kamnin in ostanke nekdanje osnove. Veziva med zrni je zaradi pretežno stičnih kontaktov in močne kompakcije kamnine zelo malo, delno je to kalcitno (do 3 %), delno pa roženčevosericitno. V slednjih količinah so prisotni še glinenci in težki minerali – med slednjimi močno prevladuje granat nad cirkonom, rutilom, turmalinom, apatitom in biotitom. Plešivski peščenjak vsebuje v vezivu še limonit, več vzorcev pa tudi precej organske snovi. Med peščenjakom dobimo ponekod poleg lapornih vložkov in pol glinavca še tanjše plasti tufa. Verjetno so ti tufi vezani na vulkansko aktivnost, ki jo v eggenburgiju Hrvaškega Zagorja opisujejo A vanić in sodelavci (1990), Šimunić in Pamić (1993), Tari in Pamić (1998), Saftić in sodelavci (2000) ter Pamić in Balen (2001).

Primerjava raziskanega maceljskega peščenjaka iz Loga s tistim, ki izdanja v hrvaškem Zagorju (Bojanić et al. 1978, Tadej et al. 1997) je pokazala veliko sorodnost.

Litofaciesi konglomeratov in prodnatih peščenjakov se pojavljajo na Dolgi oziroma Nunski gori, debeložrnat konglomerat pa je še posebej razvit na vrhu Donačke gore. Njihova glavna značilnost je visok delež karbonata, ki nastopa kot sparitni cement, bioklasti ter litična zrna apnenca in dolomita. Med detritičnimi zrni prevladuje kremen nad drobci vulkanskih in metamorfnih kamnin, manj pa je roženca, glincev in težkih mineralov. V peščenjaku z Nunske gore smo opazili pretrtost kremenovih zrn in drobcev trših vulkanskih kamnin na mestu, kar potrjuje tektonska dogajanja po konsolidaciji kamnin, verjetno zaradi bližine Labotske in Donačke prelomne cone.

Eggenburgijske plasti so zelo revne s fosilnimi ostanki. Med peskom in peščenjakom se dobijo le tu in tam ostanki flore – večinoma so to slabo ohranjeni listi dreves. Mikrofavna se dobi le v polah glinenega in meljastega laporja. Med foraminifernimi vrstami, ki so sicer redke, omenjamo naslednje: *Cyclogyra polygyra*, *Nodosaria longiscata*, *Cibicides ungerianus*, *Melonis soldanii*, *Florilus communis*, *Gyroidina soldanii girardana* in druge (Rijavec 1978, 1984).

Čeprav je obdobje eggenburgija trajalo relativno kratko, le 1,5 milijona let in je

koncem le tega že nastopila okopnitev ozemlja, je bila sedimentacija dokaj hitra, saj doseže paket maceljskega peščenjaka in konglomeratov kar 400 do 500 metrov.

Miocenska emerzija se je na Kozjanskem nadaljevala skozi celotno obdobje otnangija in karpatija in končuje s transgresijo konglomeratov in litotamnijskega apnenca v badeniju.

Badenij (srednji miocen)

Plasti badenijske stopnje so razširjene na celotnem Kozjanskem in so razvite zelo pestro. Najbolj pogosto se menjavajo plasti biokalkarenita in laporja, ki so v literaturi znane kot **laške plasti**, sam lapor pa kot **laški lapor**. V bazalnih in spodnjih delih badenijskega zaporedja pa nastopajo tudi kremeno-apnenčevi peščenjaki in konglomerati ter masivne, tudi do več deset metrov debele plasti litotamnijskega apnenca. Na pregledni karti (sl. 2) kot tudi na geoloških kartah 1:100.000 (Buser 1978, Aničić & Juriša 1985a) sta oba litološka tipa kartografsko izdvojena.

Petrološko je lapor lahko zelo raznovrsten – glinen, peščen in največkrat meljast. Čeprav imajo te kamnine na terenu podobne lastnosti in videz kot lapor, pa po petrografski terminologiji in zrnavosti to največkrat niso. Večinoma so to karbonatni meljevci s 30 do 60 % karbonata in srednjo zrnavostjo okrog 15 µm. Peščen izgled oz. otip dajejo lapornim plastem številne drobne foraminifere, največkrat globigerine.

Badenijske plasti so razširjene na celotnem raziskanem ozemlju in so razvite zelo pestro. Dobimo jih v pasu, ki poteka severno od Šentjurja pri Celju in Šmarja pri Jelšah dalje proti Rogaški Slatini in naprej na Hrvaško. Nahajamo jih tudi v jedru Laške sinklinale med Šentrupertom in Grobelcami in dalje ob njenih robovih proti Mestinju in Sodni vasi (sl. 2), v obeh krilih Planinske sinklinale, na vzhodnem delu Litijske antiklinale in Senovške sinklinale ter na Bizeljskem. Posebno obsežni grebeni litotamnijskega apnenca pa izdanjajo še v pasu med Planino pri Sevnici, Pilštanjem, Kozjim in Bistrico ob Sotli.

Badenijske plasti so, kot že omenjeno, položene na starejših kamninah diskordantno. Najbolj pogostno so to govške plasti ege-

rijske starosti, večkrat pa tudi triasni karbonati, flišne plasti kredne starosti in celo karbonski in permski klastiti, kar kaže na intenzivno tektoniko in erozijo ozemlja v času štajerske tektonske faze v obdobju srednjega miocena. Ponekod (npr. pri Vodružu) so kontakti med zgornjetriasnim in litotamnijskim apnenecem izredno ostri in opazni tudi v mikroskopskih preparatih.

V krajih, kjer leže badenijske plasti na govskih plasteh, začenjajo z bazalnim konglomeratom. Po sestavi je ta drobno do srednjezrnat apnenčevo-kremenov, saj ga sestavljajo pretežno prodniki belega kremenca, roženca in vulkanskih kamnin (največkrat keratofirja) ter različnih vrst apnenca. Večivo med prodniki je peščeno-glineno ali kalcitno. V konglomeratu večkrat zasledimo tudi odlomke, kopuče ter inkrustacije litotamnij, briozoje, lupine školjk in polžev.

Starost badenijskih plasti je dokazana predvsem na podlagi vodilnih vrst foraminifer. Za spodnji badenij so značilne uvigerinske vrste *Uvigerina aculeata aculeata* in *U. aculeata orbignyana* ter planktonske vrste *Orbulina bilobata*, *O. suturalis* in *Globorotalia fonsi barisanensis* za srednji badenij vrste *Uvigerina venusta*, *U. liesingensis* ter *Orbulina universa* in *Pavonitina styriaca* za zgornji badenij pa *Bolivina dilatata*, *B. elongata* ter *Ammonia beccarii*, *Globigerina bulloides* in *Virgulina pertusa* (Rijavec 1978, 1984, Rijavec & Aničić 1979). Badenijska starost dela plasti na Plohovem Bregu je dokazana še z nanoplanktonom (Pavšič & Aničić 1995).

Mestoma so foraminifere v laporju tako številne, da govorimo lahko že o »peščenem laporju« oziroma lapornem apnencu (tab. 2, sl. 7 in 8). Poseben tip takega rumenkastega lapornega apnenca z zelo drobno poroznostjo je **šentjurski apnenec** (Buser 1978, Aničić 1984), ki izdanja na več krajih severno od Šentjurja pri Celju in je dober ter znan gradbeni kamen.

Po petrografski opredelitvi lahko **karbonatne peščenjake** opredelimo kot tipične bikalkarenite in biokalcirudite s pestro biogeno komponento, katere delež lahko doseže tudi do 60 % kamnine. To biogeno komponento sestavljajo predvsem fragmenti rdečih litotamnijskih alg, nadalje lupine moluskov, briozoji, velike foraminifere (miogipsine, miliolide in druge), morski ježki in korale. V

nekaterih vzorcih so alge ali briozoji tako številni, da peščenjak lahko poimenujemo kar **litotamnijski apnenec** oz. peščenjak ter brizojski peščenjak ali konglomerat (tab. 3, sl. 1-4). Litotamnijski apnenec je navadno debeloplastnat, pogosto pa tudi masiven (sl. 13, 14). Na več krajih so ga do nedavnega lomili kot dober gradbeni kamen.

Litotamnije se javljajo v dveh oblikah. V večini vzorcev jih opazujemo kot do 2 mm velike bioklaste, ki so srednje do dobro zaobljeni, pogosto pa jih je zajela tudi intenzivna endolitizacija. V nekaterih horizontih pa se litotamnije javljajo kot manjše ali intenzivnejše inkrustacije. V teh primerih kamnino opredelimo kot litotamnijski apnenec ali biolitit. Večkrat so z litotamnijami močno inkrustirani tudi konglomerati.

Detritično komponento v **peščenjakih** in konglomeratih sestavlja v glavnem kremen. Njegov delež ocenjujemo med 3 in 40 %, večji del pa je zastopan z 20 do 30 %. Največkrat je monomineralen in zelo dobro zaobljen. Zaobljenost kremenovih zrn in prodnikov je boljša v konglomeratu kot v peščenjaku. Kremenu slede po zastopanosti litična zrna, v sledovih do 2 % pa najdemo še glince in glavkonit (tab. 3, sl. 5). Med litičnimi zrnji so prisotni različki vitričnega tufa, glinavci, mikrokristalni kremen (roženec), kremenov peščenjak, dolomit in biomikritni apnenec mezozojske starosti.

Značilen mineral badenijskega karbonatnega peščenjaka je tudi glavkonit, ki obarva nekatere plasti značilno zelenkasto. Zrna glavkonita merijo od 50 do 300 µm in so povečini dobro zaobljena, manjši del glavkonita pa je tudi avtigenega – zapolnjuje kamrice foraminifer. Pirit je avtigen in se javlja v do 50 µm velikih zrnih in framboidih (tab. 2, sl. 7).

Cement v vseh preiskanih vzorcih badenijskega peščenjaka in konglomerata je sparitni kalcit z do 0,5 mm velikimi zrnji, okrog ehinodermov pa je pogost sintaksialni cement. Večkrat opazujemo dve generaciji cementa – obrobni cement A ter mozaični sparit B. Biokalkareniti in konglomerati so slabo do srednje porozni. Pore imajo večji del medzrnski značaj in merijo od nekaj desetink mm do 1 mm. Delež por ocenjujemo med 1 in 10 %, večji del pa te dosega med 2 in 5 %. Zaradi svoje homogenosti so v preteklosti litotamnijski apnenec, predvsem

drobnozrnat biokalkarenit, na Kozjanskem uporabljali kot pomemben gradbeni in arhitektonski kamen.

Mestoma se med badenijskim peščenjakom in konglomeratom litotamnije javljajo v več cm in izjemoma do 10 cm velikih rodoidih, ki kažejo koncentrično spužvasto strukturo. Na več mestih, v Spodnjih Selcah pri Grobelnem, v okolici Šentjurja, Šentruperta, Kozjega (Ješovec) in Bistrice ob Sotli (Srebrnik in Dekmanca) so ti rodoidi tako številni, da se kažejo kot nekaj metrov debel rodolitni konglomerat (sl. 15) (Aničić & Ogorelec 1994/95). Mestoma litotamnije obraščajo tudi litične drobce kremenca. Taki litotamnijiški rodoliti so bili v času badenija v Panonskem bazenu dokaj pogostni. Znani so tudi iz hrvaškega Zagorja (Avanić et al. 1998), iz Dunajskega bazena (Dullo 1983) in celo s Poljske (Studencki 1988),

Litološko so posebno zanimivi še biokalkareniti in konglomeratični peščenjaki iz Sedovca, južno od Šmarja pri Jelšah in Grobelc pri Slivniškem jezeru, v katerih je med bioklasti in litičnimi zrni tudi do 10 % ooidov. Take peščenjake lahko poimenujemo kar oolitni biokalcirudit (tab. 3, sl. 6). Ooidi kažejo radialno rast kristalov, v njihovih jedrih pa so večkrat foraminifere ali kremenova zrna.

Po terenskih opazovanjih in po mikrofaciesu ugotavljamo, da so se badenijski karbonatni peščenjaki odlagali v plitvem, dokaj odprtem litoralnem šelfu, ki je imel lokalno različen značaj sedimentacijskega okolja ter stalni dotok detritičnega materiala iz obrobja Panonskega bazena ter iz erodiranih prostorov. Laporji in karbonatni meljevci so se odlagali v plitvih, bolj zatišnih lagunah ali pa v bolj distalnih in nekoliko globljih delih deltnih okolij.

Tabla 3 – Plate 3

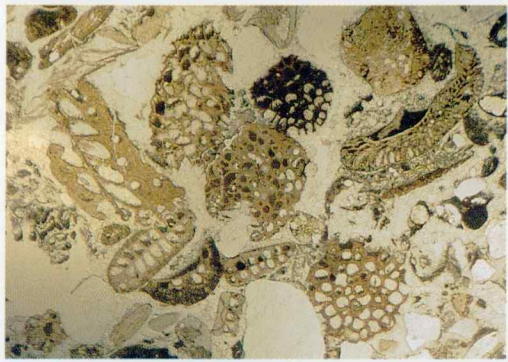
- 1 Biokalkarenit s številnimi fragmenti litotamnij.
Biocalcarenites with numerous lithothamnian fragments.
TcB 4537, Vodruž pri Šentjurju, 20 x.
- 2 Litotamnijiška koralinacija s številnimi konceptakli (detajl).
Lithothamnian corallinean algae with conceptacles (detail).
TcB 7628, Trobni dol, 20 x.
- 3 Drobnozrnat biokalciruditni apnenec s številnimi fragmenti briozojev.
Finegrained biocalcirit with numerous bryozoan fragments.
TcB 3680, Kamnolom Rifnik – Rifnik quarry, 10 x.
- 4 Brizojski kalcirudit.
Bryozoan calcirudite.
TcB 4530, Sotensko pri Šmarju pri Jelšah, 20 x.
- 5 Drobnozrnat apnenčev peščenjak – biokalkarenit z detritičnimi zrni kremenca in zrni glavkonita.
Laške plasti, badenij.
Finegrained calcareous sandstone – biocalcarenites with detrital quartz and glauconite grains.
Laško beds, Badenian.
TcB 4485, Krajncica pri Šentjurju, 20 x.
- 6 Badenijski apnenčev peščenjak – biokalkarenit s posameznimi ooidi iz laške plasti. Calcareous sandstone – biocalcarenites with some ooids. Laško beds, Badenian.
TcB 81, Sedovec južno od (south of) Šmarja pri Jelšah, 20 x.
- 7 Sarmatijski peščenjak iz Pršlina ob cesti Rogaška Slatina – Vonarje. Presečna polarizirana svetloba, 20 x
Sarmatian sandstone from Pršlin along the road Rogaška Slatina – Vonarje. PPL, 20 x
- 8 Enako kot slika 7, med navzkrižnimi nikoli
The same as fig. 7, +N



1



2



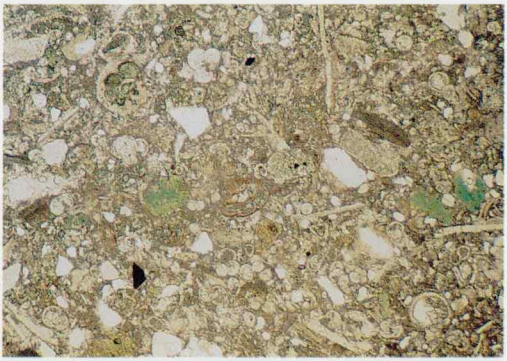
3



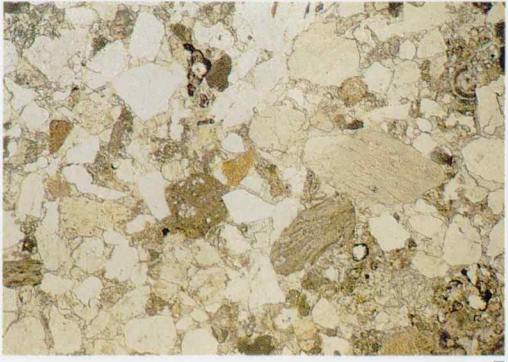
4



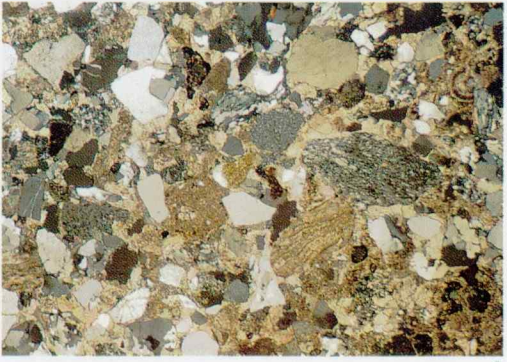
5



6



7



8

Biokalkareniti in peščeni karbonatni konglomerati kažejo na višjo energijo okolja: Zelo dobro zaobljeni kremenovi prodniki in bioklasti ter istočasno odsotnost glinene komponente govore, da so plasti nastajale v obrežnih delih bazena. Konglomerati, posebno tisti, ki so bogati z litotamnijskimi kopuči

(»rhodolite pavement«) imajo večkrat značaj bazalnih tvorb. Nakazujejo lokalne transgresijske sunke po krajših emerzijskih obdobjih. Fosilna združba rdečih litotamnijskih alg, foraminifer, briozojev ter moluskov kaže na izrazito morsko okolje sedimentacije, na toplo klimo pa kažejo tudi ooidi. V



Sl. 14. Izdanek badenijskega litotamnijskega apnenca v laških plasteh ob cesti Mestinje – Podplat.

Fig. 14. Outcrop of lithothamnian limestone along the Mestinje – Podplat road. Laško beds, Badenian age.



Sl. 15. Rodolit z velikimi rodoidi v badenijskem v litotamnijskem apnencu v Srebrniku pri Bistrici ob Sotli.

Fig. 15. Rhodoids in lithothamnian limestone – rhodolite conglomerate. Badenian beds, Srebrnik near Bistrica at Sotla. (Foto – Photo: Mateja Golež).



Sl. 16. Blazinaste plasti peščenjaka in konglomerata med sarmatijskim meljastim laporjem ob cesti Rogaška Slatina – Vinarje.

Fig. 16. Pillow-like sandstone and conglomerate beds in Sarmatian silty marl along the Rogaška Slatina – Vinarje road.

zatišnih in relativno globljih delih plitvega morja pa so se odlagali biokalkareniti. Večji del je imel kozjanski prostor v badeniju tudi zvezo z bolj odprtim morjem. Na to sklepamo po planktonskih foraminiferah (globorotalijah), ki so masovne v nekaterih plasteh drobnozrnatega biokalkarenita (npr. Vodice pri Slivnici).

Pri Mačkovcu in Zg. Bezgovnici blizu Šentruperta ter v Krajncici pri Šentjurju smo v okviru detajlnega kartiranja v zadnjih letih našli znotraj badenijskih laporjev tudi **tufe**. To so srednjezrnati vitroklastični tufi, močno podobni onim v Trobnem Dolu, le da je njihova drobnozrnata tufska osnova močno spremenjena v kalcijski montmorillonit. Tuf pri Mačkovcu vsebuje tudi do 60 % klinoptilolita, ki je nastal s spremembo vulkanskega stekla. Tuf iz Zg. Bezgovnice pa vsebuje 26 % klinoptilolita, illit, plagioklaze, kristobalit in kalcit.

Omeniti moramo, da je bentonit v badenijskih plasteh sicer poznan iz Poljanske Luke pri Podčetrtku, le 100 metrov od Sotle na hrvaški strani (Aničić & Juriša 1985b). Tega so še do nedavnega pridobivali za izdelavo izplake za vrtine iz 40 cm debele plasti med peščenjaki. Kljub intenzivnim raziskavam pa nadaljevanja te plasti na desnem

bregu Sotle nismo našli.

Debelino badenijskih plasti na Kozjanskem ocenjujemo med 400 in 500 metri.

Sarmatij (zgornji miocen)

Sarmatijske plasti izdanjajo v jedru Celjske sinklinale med Grobelnim in Mestinjami, v jedru Laške sinklinale v dolini Zibike (med Grobelcami in Sotlo), v jedru Planinske sinklinale ter med Imenim, Bučami in Dekmanco ob Sotli, kjer se sinklinala razširi proti vzhodu (sl. 2). Najbolj pogosto so odložene transgresijsko na Laških plasteh in sicer na laporjih badenijske starosti. Zvezni prehodi med badenijem in sarmatijem so redki.

V sarmatiju se je pričelo Panonsko morje umikati proti vzhodu, za njim pa so ostale obsežne kadunje in korita z delno slanim oziroma brakičnim okoljem. Podobno kot v badeniju, pričenjajo tudi sarmatijske plasti z bazalnimi konglomerati in pretežno apnenčevimi peščenjaki (sl. 3, sl. 16). V primerjavi z badenijskim konglomeratom ta vsebuje več apnenčevih prodnikov ter manj kremenca in kislih predornin. Ponekod dobimo v spodnjem delu sarmatijskega zaporedja mikritne apnenice in bolj trde laporje, ki pa so redkeje

zastopani kot na Hrvaškem (Pikija et al. 1989)

V litični sestavi sarmatijskega zaporedja prevladujejo laporji in muljevci nad peskom in slabo vezanim peščenjakom ter tanjšimi polami lapornatega apnenca, ki je sive do rumene barve.

V lapornih plasteh je ugotovljena številna mikrofavna, ki v celoti kaže na brakično okolje sedimentacije. Med foraminiferami so zastopane *Articulina problema*, *Elphidium aculeatum*, *E. reginum*, *Semseya lamellata*, *Protelphidium granosum* in *P. tuberculatum* (Rijavec 1978, 1984, Rijavec et al. 1979). Pogostni so tudi ostrakodi. Po novih stratigrafskih delitvah (Rögl 1996, 1998) je sarmatij del srednjega miocena, vendar ga tu obravnavamo še kot zgornji miocen, glede na standard Osnovne geološke karte 1:100.000.

Glavni sestavini sarmatijskih peščenjakov sta kremen in kalcit. Kremen se pojavlja v obliki ostrorobih zrn, kalcit pa kot litična zrna, bioklasti in cement (tab. 3, sl. 7, 8). Predvsem pri bolj drobnozrnatih peščenjakih kalcitni cement najverjetneje nadomešča drobnozrnat silikatni matriks. V močno podrejenih količinah najdemo litična zrna roženca, drobce vulkanskih in metamorfnih kamnin, glinence in težke minerale. Zrna avtigenega glavkonita so maloštevilna. S peščenjaki so tesno povezani tudi drobnozrnat konglomerati, pogosto je opazna postopna zrnavost od konglomeratov do meljastih peščenjakov. Konglomerati sestojijo iz prodnikov, peščenih zrn, ostankov silikatnega meljastega matriksa in kalcitnega cementa. Kalcitni cement nadomešča nekdanji matriks. Prodniki so navadno dobro zaobljeni. Po sestavi pripadajo litotamnijskim apnencem, kvarcitom, kremenovim peščenjakom, vulkanskim kamninam, rožencem in meljvcem. Peščena zrna so večinoma oglata, po sestavi prevladuje kremen. Odsotnost glavkonita potrjuje pretežno sladkovodni razvoj sarmatijski klastitov na območju Kozjanskega.

Debelina sarmatijskih plasti na Kozjanskem doseže 200-400 metrov.

Panonij (zgornji miocen)

Kot najmlajše kamnine miocenske starosti so na Kozjanskem panonijske plasti. Ugotovljene so v jedru Laške sinklinale pri Zi-

biki, v jedru Planinske sinklinale ob Sotli (med Imenim in Sedlarjevim) ter pri Bistrici ob Sotli (sl. 2).

Panonijske plasti leže konkordantno nad sarmatijskimi, sestavljajo pa jih laporji, peski in slabo vezani peščenjaki. Foraminiferna in ostrakodna favna kaže na njihovo brakično in sladkovodno okolje sedimentacije. Debelina teh plasti na Kozjanskem doseže do 300 metrov. Te plasti niso bile predmet naše študije.

Lithology of Tertiary beds in Kozjansko, Eastern Slovenia

Introduction

Kozjansko is a hilly land between Mt. Boč in the North, Mt. Bohor in the South, Savinja and Sava rivers in the West and Sotla river in the East. The area already attracted the interest of geologist in the middle of the 19. century by coal deposits at Laško, Senovo, Trobni Dol and Mt. Babna gora, by iron ore deposits on Mt. Rudnica and Mt. Bohor, by lead and zinc at Mt. Bohor, and particularly, by mineral water springs at Rogaška Slatina and hot springs in the vicinity of the towns of Laško and Rimske Toplice, and somewhat later at Podčetrtek. Some localities were studied in detail during the last decades by regional mapping and drilling for coal and mineral water.

The main purpose of the present contribution is to present the results of petrological and sedimentological research of the last ten years. It is based on extensive field work on the project of new Geological map, Sheet Kozjansko, scale 1:50.000, and laboratory analyses of over 320 samples from the outcrops and borehole cores. Lithostratigraphic units are the same as in OGK (Basic Geological Map) 1:100.000 – Sheets Celje (Buser 1978, 1979), Rogatec (Aničić & Juriša 1985a,b).

The new results presented in this contribution will be helpful in the study of genesis of South-West Pannonian basin, and will enable better correlation with the neighbouring areas of Croatian Zagorje, the Krško basin, the Slovenske Gorice area, Styrian basin in Austria and the developments in Hungary.

Previous work

Among first geologists who studied the Kozjansko area and their works, we have to mention Lipold (1858) who elaborated a manuscript map, Zollikofer (1861), Stur (1871), Teller (1907), Dreger (1907, 1920), Bittner (1884), Hoernes (1883, 1888), and Gorjanović-Kramberger (1904).

In the time before the Second World War, geological studies were rather limited. Here, we mention only Heritsch (1914), Winkler (1930) and Munda (1939, 1940), who mainly worked on tectonics, coal and mineral waters.

Intensive studies of the Kozjansko area followed after the Second World War, and at the beginning, they were focused on exploration of coal (Hamrla 1955, 1958) and mineral waters (Nosan 1960, 1963, 1973, 1975). Regional mapping followed somewhat later (Pleničar & Nosan 1958, Grad 1962, 1967, Ramovš 1959). Basic geological maps in scale 1:100000, Sheets Celje (Buser 1978, 1979), and Rogatec (Aničić & Juriša 1985a, b) are complemented by textual explanations.

After the year of 1986, detailed regional investigations started under the auspices of B. Aničić. The map of Kozjansko, scale 1:50000 (Aničić & Dozet 2002) is in press. The following studies, deal with specific regional geological, stratigraphic, sedimentological and petrological thematics: Paunović et al. 1986, Dozet & Rijavec 1994, Odin et al. 1994; Aničić & Ogorelec 1995, Petrica et al. 1995; Ramovš & Aničić 1995; Rijavec & Dozet 1996; Dozet et al. 1996, 1999; Aničić & Ramovš 1997; Pavšič & Aničić 1998, 1999; Fodor et al. 1998; Kralj 1999; Jelen et al. 2001; Sachsenhofer et al. 2001.

Geological setting

Tectonically, Kozjansko area belongs to southwestern marginal part of the Pannonian basin and easternmost extending of Sava folds (Fig. 1 and 2). Synclines are infilled with Tertiary sediments overlying discordantly Paleozoic and Mesozoic basement of the Sava folds. The area is relatively folded, the fold axes having generally E-W trends.

Northern part of Kozjansko belongs to the Celje basin, Celje syncline and Pletovarje-Macelj anticline. Towards the South, Laško and Planina synclines occur. They are separated by Trojane and Rudnica anticlines.

Pre-Tertiary basement

The oldest rocks in the area are Carboniferous shales, sandstones and conglomerates, which outcrop at Svetina and on Mt. Bohor and Mt. Orlica. Lower Permian massive limestone is encountered on southern flanks of Mt. Boč. Overlying Middle Permian clastic rocks of the Val Gardena formation were found at Svetina, and on Mt. Orlica and Mt. Bohor. Triassic rocks are completely developed, and comprise Schythian interbedding of clayey sandstones, siltstones, oolitic limestones, dolomites and marly limestones. Anisian beds are developed as dolomites. Ladinian carbonate sediments of platy limestone with cherts are intercalated by clastic sediments and volcanic rocks – spilites, keratophyres and their tuffs. Upper Triassic beds are mainly developed as Cordevolian massive dolomite and reef limestone. Norian and Rhetian stage are encountered as Dachstein limestone and Main dolomite with megalodontids. Locally (on southern flanks of Mt. Bohor, Mt. Orlica and Mt. Rudnica), Jurassic-Cretaceous deep-water marly limestones with chert and calpionelas, and Cretaceous flysch occur.

Tertiary

In the whole Kozjansko area, Tertiary beds overlie discordantly Triassic limestones and dolomites and Carboniferous shales as well. The whole thickness of the Tertiary strata amounts 2000 to 2500 m. Tertiary sediments are developed clastically, as sediments of the molasse type. Tertiary sequence ranges from Lower Oligocene (Kiscellian) to Pannonian (Fig. 3). The Kozjansko area is characterised by an hiatus in Miocene lasting from Ottnangien to Carpathien stage and encompassing about 600 m thick sedimentary sequence.

Kiscellian

The oldest Tertiary beds are of the Kiscellian age. They are developed as basal conglomerates, silts, marls, sands, poorly lithified sandstones, volcanic and pyroclastic rocks. In the lower part of this sedimentary sequence, coal seams occur, which have been exploited in recently abandoned mines at Laško, Senovo, Trobni Dol and other locations near Rogaška Slatina. They are termed »Pseudo-Socka beds« for their resemblance to the real Socka beds of the Middle Eocene age, but recent studies have shown that they are younger (Jelen et al. 1992; Odin et al. 1994).

Pseudo-Socka beds are overlain by grey marly clay, known as "sivica". According to grain-size distribution, it is classified as clayey sandy silt. In mineral composition, illite/muscovite amounts to about 40 % of the bulk rock. Carbonate is mainly related to fossils and may attain up to 25 %. Quartz amounts to about 10 %, and kaolinite and montmorillonite are subordinate constituents.

Kiscellian sedimentary sequence is interrupted by volcanic rocks (Fig. 3). Voluminous lava flows of acid andesite outcrop at Zagaj (Fig. 4) and Cerovec near Rogaška Slatina, and dacite at Trlično near Rogatec. Owing to submarine environment, the extruded lavas commonly show autobrecciation and local development into hyaloclastites. Pyroclastic deposits of rhyodacitic composition are widespread at Trobni Dol, and their thickness amounts to over 100 m. They are developed as submarine pyroclastic flow deposits. Minor occurrence of pyroclastic rocks are at Košnica, in the vicinity of Štore and Šentjur, at Sv. Rok near Rogatec and between Zagaj and Cerovec near Rogaška Slatina.

Kiscellian sandstones are mainly fine-grained, thinly bedded or laminated. The degree of lithification is various, but the most commonly it is intermediate. Sandstones frequently contain organic matter in the form of impregnations. In their composition, detrital quartz predominates, in very subordinate amounts muscovite, feldspars and biotite occur, too. Matrix is commonly of sericite-chert composition developed by alteration of silty matrix. In some of the samples, calcite cement also occurs.

Egerian

Egerian beds are the most widespread Tertiary sediments in the area between the Sotla and Savinja rivers. They are termed Govce beds, and amount to about 500 m of thickness. They are mainly developed as clastic sediments – clayey and carbonaceous silts, sands, sandstones and more rarely, conglomerates. Coarse-grained conglomerates occur as several metres thick basal beds and are commonly interbedded with sandstones and sands. Numerous fossiliferous fauna indicates predominantly marine depositional environment. Some sedimentary sequences, however, were probably deposited in a freshwater, deltaic and fluvial environment. They contain altered organic matter (leaf prints, wood) and coal seams.

Predominating facies is siltstone, which may contain various amounts of sand. Carbonate component mainly originates from fossil remains. In the older literature, such sediments were termed marls, although they belong to silts according to their grain-size distribution.

Lithofacies of sandstones was subdivided into four units according to their composition and the degree of lithification. The first is characterised by abundant bioclasts, lithic fragments of micritic limestone, detrital quartz and authigenic glauconite. The second sublithofacies is represented by quartzose sandstones, cemented by calcite, limonite and glauconite, and is closely related to conglomerate facies. The third sublithofacies is characterised by the prevalence of detrital quartz, which occurs with lithic fragments of dolomite, and subordinate muscovite, chlorite, biotite, volcanic, metamorphic and sedimentary (chert) rock fragments and traces of bioclasts and glauconite.

Very nice outcrops are encountered in a continuous profile at Plohov Breg by Olimje. Here, the Egerian sequence amounts to 500 m. Biostratigraphic age was determined by foraminiferal fauna and over 30 species of nannoplankton (Pavšič & Aničić 1998). Egerian sands are characterised by the occurrence of silt balls, commonly crusted with goethite and lepidocrocite crusts. The formation of iron oxides is probably related to paleosol formation during the emersion phase in Ottnangian and Karpathian stage, migration of iron ions in permeable sand lay-

ers, and their adsorption on clay minerals in silt balls.

Egerian volcanic rocks outcrop at Rjavica. It is highly altered and weathered, locally autobrecciated rock, composed of albite, quartz and limonite. It could be a shallow volcanic intrusion.

Eggenburgian

Eggenburgian sediments are characterised by clastic development. Siltstones and sandstones predominate, conglomerates are subordinate in occurrence. They were found in a narrow belt between Nunska gora, Rogaska Slatina, Rogatec and Log. They are the most widespread around Mt. Donačka gora and Mt. Macelj. In geological literature they are known as Macelj sandstones. They are characterised by very high degree of diagenesis and the occurrence of glauconite and chlorite, which imparts characteristic deep green color to the rock. Quartz grains predominate, and they are recrystallised. Cement content is very low and consists of quartz contact cement, and phyllosilicate cement which possibly originates from the former silty matrix. Glauconite and chlorite replaces the former volcanic rock fragments. Dolomite grains seem to be the remains of the former dolomite cement.

Badenian

Badenian beds are developed as calcareous-quartztoze conglomerate, lithothamnian limestone, calcarenite and marl, in literature known as the Laško beds and Laško marl. Carbonate sandstones can be subdivided into biocalcarenites and biocalcirudites with very abundant and diverse biogenic component which may amount up to 60 % of the bulk rock. Biogenic component mainly consists of red lithothamnium algae, molluscan shells, large foraminifers, corals and bryozoans. Some samples are so rich in fossil remains that can be called lithothamnian limestone. The most impressive occurrence of lithothamnian algae is in rhodoids, which form some metres thick rhodolite conglomerate. Such outcrops are near Šentjur, Spodnje Selce at Grobelno, Kozje

(Ješovec) and Bistrica ob Sotli (Srebrnik). Biocalcarenites from Sedovec and Grobelce at Slivniško jezero is particularly interesting for containing about 10 % of ooids. The rocks are classified as oolitic biocalcirudite. Badenian calcarenites and calcirudites were deposited in shallow open and littoral shelf, and while and carbonate silts in lagoons, or in more distal and deeper deltal environment. Biocalcarenites and conglomerates indicate higher energy level of the environment. Conglomerates commonly appear as basal beds.

Badenian volcanic activity was recognised in some layers at Mačkovec near Šentrupert. The tuffs are vitroclastic and similar to those at Trobni Dol. Among crystallised phases, calcic-montmorillonite, cristobalite, plagioclases, and up to 60 % of clinoptilolite were determined by the means of X-ray diffraction. Badenian tuffs are newly discovered in the study area.

Sarmatian

Sarmatian clastic sedimentary rocks are mainly developed as sands, sandstones and subordinate conglomerates. Normal gradation is commonly observed. Sands are poorly sorted. The prevailing constituents are detrital quartz and limestone rock fragments, and calcite cement. Pebbles were derived from various rock types: lithothamnium limestones, quartzites, quartztoze sandstones, volcanic rocks, cherts and poorly lithified siltstones. Pebbles are commonly well rounded. Conglomerates originally contained fine-grained matrix, but later, calcite replaced clay and fine silt. Authigenic glauconite, which is common in Egerian and Badenian conglomerates was not found in the studied samples. Its absence supports the idea of freshwater development of Sarmatian clastic sediments in Kozjansko.

Pannonian

The youngest deposits in the Kozjansko area are Pannonian marls, silts, sands and poorly lithified sandstones. They are encountered in the Laško syncline core at Zibika, in the Planina syncline core along the Sotla river and at Bistrica ob Sotli (fig. 2).

Foraminifera fauna indicates that they were deposited in a brackish and freshwater environment. Their thickness amounts to 300 m.

Zahvala

Zahvaljujemo se Ministrstvu za šolstvo, znanost in šport Republike Slovenije, ki je financiralo projekte in programe, v okviru katerih so potekale naše raziskave. Prisrčna hvala velja prof. dr. Jerneju Pavšiču za kritični pregled članka in sugestije.

Univ. dipl. geogr. Špela Kumelj je računalniško pripravila geološko karto in del grafike.

References

- Aničić, B. 1984: Geološka zgradba ozemlja občine Šmarje pri Jelšah. Med Bočem in Bohorjem – Zbornik občin, 46-55, Občini Šentjur pri Celju in Šmarje pri Jelšah.
- Aničić, B. 1990: Geološke razmere na Orlici. – *Geologija* 33, 233-287, Ljubljana.
- Aničić, B. & Dozet, S. 2000: Mlajšepaleozojske in mezozojske kamnine na severnem obrobju Krške kotline. – *Geologija* 32/1, 13-35, Ljubljana.
- Aničić, B. & Dozet, S. 2002: Geološka karta Kozjanskega 1:50.000. – Geološki zavod Slovenije (v tisku).
- Aničić, B., Dozet, S. & Žnidarčič, M. 2000: Correlation of Neogene Beds in North-eastern Slovenia. V: I. Vlahović, I. Velić & M. Šparica (eds.): – Zbornik radova. 2. Hrvatski geološki kongres Cavtat, 69-70, Zagreb.
- Aničić, B. & Juriša, M. 1985a: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 – Tolmač za list Rogatec. – Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Aničić, B. & Juriša, M. 1985b: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 – Tolmač za list Rogatec. – Zvezni geološki zavod, 76 p., Beograd.
- Aničić, B. & Ogorelec, B. 1994/95: Badenijski rodolit na Kozjanskem. – *Geologija* 37, 236-249, Ljubljana.
- Aničić, B. & Ramovš, A. 1997: Ložanski peščenjak z Maclja. – *Proteus* 60/4, 167-171, Ljubljana.
- Aničić, B. & Ramovš, A. 1998: Vonduški peščenjak namesto ptujskogorski peščenjak – Zahodne Haloze. – *Geologija* 41 (1999), 103-108, Ljubljana.
- Aničić, B. & Ramovš, A. 1999: Kamen in kamniti portali na Kozjanskem. – *Proteus* 61/6, 252-259, Ljubljana.
- Aničić, B., Dozet, S. & Ramovš, A. 2001: Development of the scythian series in the Orlica anticlinale area (Sava Folds). – *Acta Carsologica* 30/1, 85-96, Ljubljana.
- Avanić, R., Šimunić, A., Šimunić, A., Šikić, L. 1990: Klastiti egera (Socka slojevi) u Hrvatskom Zagorju. – 12. kong. geol. Jugosl., 1, 206-217, Ohrid.
- Avanić, R., Glovacki-Jernej, Ž. & Novosel-Škorić, S. 1998: Pojava rodolita u gornjobadenskim naslagama u području Kumrova (sjeverozapadna Hrvatska). – *Zavod geol. istraž. SR Crne Gore – Geološki glasnik VI – Zbornik radova VI skupa sedim. Jugoslavije*, 13-19, Titograd.
- Báldi, T. 1986: Mid-Tertiary Stratigraphy and Paleogeographic Evolution of Hungary. – *Akadémiai Kiadó*, 201 p., Budapest.
- Báldi, T. & Báldi – Beke, M. 1985: The evolution of Hungarian Paleogene basins. – *Acta Geol. Hungarica* 28, 5-28, Budapest.
- Berggren, W.A., Kent, D.V., Swisher, C.C. & Aubry, M.P. 1995: A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. – *SEPM Spec. Publ.* 54, 129-212, Tulsa.
- Bojanić, A., Tišljarić, J. & Majer, V. 1978: Klastični miocenski sedimenti sjeverozapadnog dijela Maceljske gore (Hrvatska, Jugoslavija). – *Geol. vjesnik* 30/2, 445-452, Zagreb.
- Buser, S. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ, list Celje 1:100.000. – Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Buser, S. 1979: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 – Tolmač za list Celje. – Zvezni geološki zavod, 72 p., Beograd.
- Buser, S., Aničić, B. & Teržan, M. 1987: Terciarni arhitektonsko-gradbene kamenine vzhodne Slovenije. – *Geol. zbornik* 8, 37-40, Ljubljana.
- Buser, S., Pavšić, J. & Aničić, B. 1982: Globokomorske kredne plasti v vzhodni Sloveniji. – Zbornik radova, 10. jubilarni kongres geologa Jugoslavije, Knjiga 1, 11-23, Budva.
- Bittner, A. 1884: Die Tertiär-Ablagerungen von Trifail und Sagor. – *Jahr. d.k.k. Geol. Reichsanst.* 34, 433-600, Wien.
- Dreger, J. 1907: Geologische spezialkarte Rohitsch-Drachenburg 1:75.000. – *Geol. R. A., Wien*.
- Dreger, J. 1920: Erläuterung zur geologischen Karte Rohitsch-Drachenburg. – *Geol. R. A., 1-42, Wien*.
- Dozet, S., & Rijavec, L. 1994: On the geological relations of the Šentjur-Planina-Trobni dol-Loka at Zusem area (Eastern Slovenia). – *Rud. met. zb.* 41, 27-41, Ljubljana.
- Dozet, S., Rijavec, L. & Stojanović, B. 1996: Geological Relations in the Laško Synclorium Area between Lahomno and Grahovše. – *Rud. met. zb.* 43/1-2, 37-53, Ljubljana.
- Dozet, S., Rijavec, L. & Grad, K. 1999: Western Kozje Area Tertiary (Eastern Slovenia). – *Rud. met. zb.* 46/3, 475-489, Ljubljana.
- Dullo, W.C. 1983: Fossil diagenese im miozänen Leitha-Kalk der Paratethys von Österreich: Ein Beispiel für Faunenoerschiebungen durch Diageneseunterschiede. – *Facies* 8, 1-112, Erlangen.
- Faninger, E. 1966: Hiperstenov andezit pri Sv. Roku ob Sotli. – *Geologija* 9, 549-553, Ljubljana.
- Fodor, L., Jelen, B., Márton, E., Skaiberne, D., Čar, J. & Vrabec, M. 1998: Miocene-Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault: Implications for Alpine-Carpathian models. – *Tectonics* 17/5, 690-709, Elsevier Publ., Washington.
- Gorjanović-Kramberger, D. 1904: Geologijska prijedlna karta i tumač geologijske karte Rogatec – Kozje (Zona 21, COL. XIII). – *Izdanje Geol. povj.*, 2, Zagreb.
- Grad, K. 1962: Geološke razmere med Rudnico in Savo. – *Geologija* 7, 113-118, Ljubljana.
- Grad, K. 1967: Geologija Kozjanskega. – *Geogr. zbornik, IV razr. SAZU*, 10, 7-16, Ljubljana.

- Hamrla, M. 1955: Geologija Rudnice s posebnim ozirrom na rudne pojave. – *Geologija* 3, 81-109, Ljubljana.
- Hamrla, M. 1958: Poročilo o geološki obdelavi ozemlja med Senovim in Komorivcem. – *Arhiv Geol. zavoda Ljubljana*.
- Heritsch, F. 1914: Beiträge zur geologischen Kenntnis der Steiermark. V: Die Tektonik der Wotschgruppe bei Poltschach in Untersteiermark. – *Mitt. Naturwiss. Verein Steiermark*, 50, Graz.
- Hinterlechner-Ravnik, A. & Pleničar, M. 1967: Smrekovski andezit in njegov tuf. – *Geologija* 10, 219-237, Ljubljana.
- Hoernes, R. 1883: Ein Beitrag zur Kenntniss der Miocänen Meeres-Ablagerungen der Steiermark. – *Mitt. naturwiss. Verein Steiermark*, 195-432, Graz.
- Hoernes, R. 1888: Ern Beitrag zur Kenntniss der Südsteierischen Kohlenbildungen. – *Mitt. naturwiss. Steiermark*, 35-46, Graz.
- Hoernes, R. 1889: Die Faziesverhältnisse der ersten Mediteranstufe in der Umgebung von Rochistch – Sauerbrunn. – *Verh. Geol. R. A.*, 254-258, Wien.
- Ilešič, S. 1984: Svet in ljudje med Bočem in Bohorjem. – *Zbornik občin Sentjur pri Celju – Šmarje pri Jelšah*, 15-24.
- Jelen, B., Báldi, M. & Rifelj, H. 2001: Oligocenske vulkanske klastične kamnine v tektonostratigrafskem modelu terciarja zahodne Slovenije. – *Geol. zbornik* 16, 34-37, Ljubljana.
- Jelen, B., Aničić, B., Brezigar, A., Buser, S., Cimerman, F., Drobne, K., Monostori, M., Kedves, M., Pavšič, J. & Skaberne, D. 1992: Model of positional relationships for Upper Paleogene and Miocene strata in Slovenia. In: *Interdisciplinary Geological conference on the Miocene epoch, 1992, IUGS Subcommission on Geochronology, Ancona, Abstracts and field trips*, 71-72, Ancona.
- Kralj, P. 1996: Lithofacies characteristics of the Smrekovec volcanoclastics, northern Slovenia. – *Geologija* 39, 159-191, Ljubljana.
- Kralj, P. 1999: Volcaniclastic Rocks in Borehole Tdp-1/84 Trobni Dol, Eastern Slovenia. – *Geologija* 41 (1998), 135-155, Ljubljana.
- LeBas, M.J., LeMaitre, R.W., Streckisen, A. & Zanettin, B. 1986: A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali – silica diagram. – *J. Petrology* 27, 745-750, Oxford.
- Kuščer, D. 1967: Zagorski terciar. – *Geologija* 10, 5-58, Ljubljana.
- Lipold, M.V. 1858: Geologische Manuskriptkarte 1:75.000, Blatt Gurkfeld und Rann – Samobor. – *Verh. Geol. R. A.*, Wien.
- Munda, M. 1939: Stratigrafske in tektonske prilike v rajhenburški terciarni kadunji. – *Rud. zbornik* 3, 49-124, Ljubljana.
- Munda, M. 1940: Starost in nastanek premogovih slojev v Rajhenburgu in Trbovljah. – *Rud. zbornik* 3/3, Ljubljana.
- Myashiro, A. 1974: Volcanic rock series in island arcs and active continental margin. – *Amer. Journ. Sci.* 274, 321-355, Washington.
- Nakamura, N. 1974: Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. – *Geochim. Cosmochim. Acta* 38, 757-775, Amsterdam.
- Nosan, A. 1960: Geologija ozemlja med Savo in Konjiško goro. – *Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana*.
- Nosan, A. 1963: Geologija Voglajnske pokrajine in zgornjega Sotelskega. – *Geogr. zbornik SAZU* 8, 65-75, Ljubljana.
- Nosan, A. 1973: Termalni in mineralni vrelci v Sloveniji. – *Geologija* 16, 5-81, Ljubljana.
- Nosan, A. 1975: Nov vrelc mineralne vode v spodnji Kostrivnici. – *Geologija* 18, 311-313, Ljubljana.
- Odin, G.S., Jelen, B., Drobne, K., Uhan, J., Skaberne, D., Pavšič, J., Cimerman, F., Cosca, M. & Hunziker, C. 1994: Premiers âges géochronologiques de niveaux volcanoclastiques oligocènes de la Région de Zasavje, Slovénie. – *Giornale di geologia* 56/1, 199-212, Bologna.
- Paunović, M., Aničić, B. & Ramovš, A. 1986: Ein Beitrag zur Kenntniss der Tertiären Fische Sloweniens. – *Rad Jugosl. akad. zn. umjet., Razred za prirod. znanosti* 21, 153-164, Zagreb.
- Pamić, J. & Balen, D. 2001: Petrology and geochemistry of Egerian – Eggenburgian and Badenian tholeiite – calc – alkaline volcanics from the South Pannonian Basin (Croatia). – *N. Jb. Miner. Abh.* 176/3, 237-267, Stuttgart.
- Pavšič, J. & Aničić, B. 1998: Nanoplanktonska stratigrafija oligocenskih plasti na Plohovem bregu pri Podčetrtku (Vzhodna Slovenija). – *Razprave IV. razr. SAZU*, 39/2, 55-79, Ljubljana.
- Pavšič, J. & Aničić, B. 1999: S pentaliti bogate spodnjemiocenske plasti v profilu Plohov breg pri Podčetrtku (Kozjansko, Vzhodna Slovenija). – *Razprave IV. razr. SAZU*, 40/4, 57-65, Ljubljana.
- Petrica, R., Rijavec, L. & Dozet, S. 1995: Stratigraphy of the Upper Oligocene and Miocene beds in the Trobni Dol area (Kozjansko). – *Rud. met. zb.* 42/3-4, 127-141, Ljubljana.
- Pikija, M., Šikić, K., Tišljar, J. & Šikić, L. 1989: Biolititni i prateći karbonatni facijesi sarmata u području Krašić-Ozalj (središnja Hrvatska). – *Geol. vjesnik* 42, 15-28, Zagreb.
- Pleničar, M. & Nosan, A. 1958: Paleografija panonske obrobja v Sloveniji. – *Geologija* 4, 94-110, Ljubljana.
- Ramovš, A. 1959: Paleozojske in mezozojske kamnine v Donjači dislokacijski coni. – *Geogr. vestnik* 31, 97-120, Ljubljana.
- Ramovš, A. & Aničić, B. 1995: Untertrias und Unteranis-Ausbildung in Mišnica-Tal östlich von Rimske Toplice, Ost Slowenien. – *Rud. met. zb.* 42/3-4, 143-155, Ljubljana.
- Ramovš, A., Aničić, B. & Dozet, S. 2001: Comparison of Lower Triassic Developments in Eastern Sava Folds and Northern Julian Alps. – *Rud. met. zb.* 48/3, 415-432, Ljubljana.
- Rijavec, L. 1965: Razvoj terciarnih sedimentov med Rudnico in Bočem, *Geologija* 8, 112-118, Ljubljana.
- Rijavec, L. 1978: Tortonska in sarmatska mikrofavna v Zahodnem delu Slovenskih gor. – *Geologija* 21/2, 209-238, Ljubljana.
- Rijavec, L. 1984: Oligocen i miocen područja između Rudnice i Boča (Istočna Slovenija) na osnovi mikrofosila. – *Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, PMF*, 144 p., Zagreb.
- Rijavec, L. & Aničić, B. 1979: Excursion A₂, Section Trebče-Zagaj near Bistrica – Lower Miocene. – In: *Drobne K. (ed.) – Geological Development in Slovenia and Croatia, Guidebook. 16th European micropaleontological colloquium*, 137-140, Ljubljana.

- Rijavec, L., Aničić, B. & Škerlj, Ž. 1979: Excursion A₁, Section Dekmanca-Bistrica on the Sotla river – Middle and Upper Miocene. – In: Drobne K. (ed.) – Geological Development in Slovenia and Croatia, Guidebook. 16th European micropaleontological colloquium, 131-135, Ljubljana.
- Rijavec, L., & Dozet, S. 1996: Lithostratigraphy and biostratigraphy of the Upper Oligocene and Miocene beds from the Central Sava Folds (Slovenia). – Rud. met. zb. 43/1-2, 11-22, Ljubljana.
- Rögl, F. 1996: Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. – Mitt. Ges. Geol. Bergbau. Österr. 41, 65-73, Wien.
- Rögl, F. 1998: Paleogeographic considerations for Mediterranean and Paratethys seaways (Oligocene to Miocene). – Ann. Naturhist. Museum Wien 99/A, 279-310, Wien.
- Rolle, F. 1857: Geologische Untersuchungen in der Gegend zwischen Weitenstein, Windisch-Grätz, Cilli und Oberburg in Unter-Steiermark. – Jahr. Geol. R. A. 8, 401-465, Wien.
- Sachsenhofer, R. F. 1992: Coalification and thermal histories of Tertiary basins in relation to late Alpidic evolution of the Eastern Alps. – Geologische Rundschau 81/2, 291-308, Stuttgart.
- Sachsenhofer, R. F., Jelen, B., Hasenhüttl, Ch., Dunkl, I. & Rainer, T. 2001: Thermal history of Tertiary basins in Slovenia (Alpine – Dinaride – Pannonian junction). – Tectonophysics 334, 77-99, Amsterdam.
- Saftić, B., Lučić, D., Prelogović, E. & Krizmanić, K. 2000: The Neogene sediments of the SW Pannonian Basin in Croatia and their hydrocarbon potential – an overview. – In: Pamić, J. & Tomljenović, B. (eds.) – PANCARDI 2000, Fieldtrip Guidebook, Vijesti Hrv. geol. dr., 37/2, 35-41, Zagreb.
- Studencki, W. 1988: Facies and Sedimentary Environment of the Pinczow Limestones (Middle Miocene, Holy Cross Mountains, Central Poland). – Facies 18, 1-26, Erlangen.
- Stur, D. 1871: Geologie der Steiermark. – Direction des geogr. mont. Vereines für Steiermark, 1-654, Graz.
- Šimunić, A. & Pamić, J. 1993: Geology and petrology of Egerian-Eggenburgian andesites from the easternmost parts of the Periadriatic zone in Hrvaško Zagorje (Croatia). – Acta. Geol. Hung. 36/3, 315-330, Budapest.
- Šimunić, An., Avanić, R., Šimunić, Al. & Hećimović, I. 1995: Litostratigrafska razčlamba donjomiocenskih klastita u Hrvatskom zagorju. – V: I. Vlahović, I. Velić & M. Šparica (eds.): Zbornik radova 2, 1. hrvatski geol. kongres – Opatija, 581-584, Zagreb.
- Tadej, N., Slovenec, D., Tišljarić, J. & Inkret, I. 1997: Glauconitic Materials from Lower Miocene Macelj-Sandstones of the Hrvaško Zagorje, North-Western Croatia. – Geol. Croatica 50/1, 17-25, Zagreb.
- Tari, V. & Pamić, J. 1998: Geodynamic evolution of the northern Dinarides and South Pannonian Basin. – Tectonophysics 297, 269-281, Amsterdam.
- Teller, F. & Dreger, J. 1898: Geologische Spezialkarte Pragerhof u. Wind. Feistritz 1:75.000. – Geol. R. A., Wien.
- Unger, F. 1851: Die Fossile Flora von Sotzka. – Denkschr. Akad. Wiss. 2, 131-197, Wien.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A. 1977: Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. – Chem. Geol. 20, 325-343, Amsterdam.
- Winkler, A. 1930: Über tektonische Probleme in den Savefalten. – Jahr. Geol. R. A. 80, 351-379, Wien.
- Zollikofer, Th. 1861-62: Über die geologischen Verhältnisse der südöstlichen Theile von Untersteiermark. – Jahr. Geol. R. A. 12, 311-366, Wien.
- Žnidarčič, M. & Aničić, B. 1995: Geološke razmere med Haložami in Slovenskimi Goricami. – Geološki zbornik 10, 76, Ljubljana.